



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

농학박사 학위논문

국내 서식하는 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)의
형태와 생태, 유전적 특성에 관한 연구

Study on morphology, ecology and genetics of
Siberian Flying Squirrel (*Pteromys volans*) in Korea

2018년 2월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학전공

김 종 우

국내 서식하는 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)의
형태와 생태, 유전적 특성에 관한 연구

Study on morphology, ecology and genetics of
Siberian Flying Squirrel (*Pteromys volans*) in Korea

지도교수 이 우 신

이 논문을 농학박사 학위논문으로 제출함
2018년 2월

서울대학교 대학원
산림과학부 산림환경학전공
김 종 우

김종우의 박사 학위논문을 인준함
2018년 2월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

요 약

본 연구는 국내 서식하는 하늘다람쥐의 형태와 생태, 유전적 특성을 파악하고 효과적인 보전 및 관리 방안을 마련하고자 수행되었다. 이를 위해 2014년부터 2016년까지 강원도 원주시 백운산 지역을 중심으로 하늘다람쥐의 형태적 특성과 둥지이용 및 선택, 행동권, 외부기생충, 유전 다양성 및 구조를 파악하였다.

하늘다람쥐의 형태적 특성은 암컷이 수컷보다 큰 암컷편향적 성적이 형성을 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 단독 생활을 하고 암컷 혼자 새끼를 키우는 하늘다람쥐의 번식전략과 관련이 있는 것으로 추정된다. 국내 하늘다람쥐의 외부형태를 핀란드와 북해도 지역과 비교한 결과, 위도에 따라 핀란드>북해도> 한국 순으로 확인되었다. 이러한 결과는 분포 지역에 따른 기후와 서식환경 차이에 따른 것으로 생각된다.

하늘다람쥐는 둥지 입구직경 4cm에 대한 선호도가 높게 나타났다. 번식둥지 확인 결과 한배새끼수는 2.17 ± 0.31 마리로 확인되었다. 둥지재료 분석결과 13종의 둥지재료 중 목본성덩굴의 비율이 가장 높게 확인되어 목본성덩굴은 중요한 둥지재료로 추정된다. 그리고 둥지와 근접한 교목과의 거리, 주변 교목의 수고, 교목수관면적은 하늘다람쥐의 둥지선택 및 이용에 중요한 요인으로 나타났다. 이는 하늘다람쥐의 생태적 특성에 따라 활공이 용이하고 포식자로부터 자신을 보호할 수 있는 숲의 구조가 둥지 선택에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

하늘다람쥐의 행동권은 15.12 ± 3.18 ha로 나타났으며, 핵심서식지는 2.75 ± 1.04 ha로 확인되었다. 번식기 행동권과 핵심서식지의 크기는 비번식기보다 크게 나타났으며, 행동권 중첩율 또한 높은 것으로 확인되었다. 이는 번식기 동안 짝짓기를 위한 번식활동 증가에 따라 행동권 크기가 증

가하기 때문인 것으로 생각된다. 하늘다람쥐는 행동권 내 활엽수림의 이용이 가장 높게 나타났으며, 수관밀도가 밀한 임분을 선호하는 것으로 확인되었다. 또한 4영급의 임분과 중경목의 이용이 높게 확인되어 울폐한 산림과 성숙림을 선호하는 것으로 생각된다.

하늘다람쥐에 기생하는 외부기생충을 채집하여 동정한 결과 다람쥐벼룩(*Ceratophyllus (Monopsyllus) indages*)으로 확인되었다. 하늘다람쥐의 성별과 건강도는 다람쥐벼룩의 기생에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 기생충에 대한 숙주의 방어기작과 숙주에 대한 기생충의 선택기작에 따른 것으로 생각된다. 따라서 하늘다람쥐와 기생충의 상호관계는 숙주의 건강도 및 행동권 크기와 연관하여 진화된 것으로 판단된다.

유라시아 지역의 하늘다람쥐는 계통 유연관계에 따라 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역으로 구분되었다. 따라서 하늘다람쥐는 3개의 진화적 유의단위(ESU)로 구분해야 되는 것으로 판단된다. 국내 하늘다람쥐는 극동 지역의 진화적 유의 단위에 포함되는 것으로 나타났다. 국내 하늘다람쥐의 유전적 특성은 진화적 유의단위 수준으로의 분화정도는 나타내지 않는 것으로 확인되어 하나의 큰 개체군으로 취급하고 하나의 관리 단위(MU)로 설정하는 것을 제안한다.

효과적인 하늘다람쥐의 보전을 위해서는 본 연구를 통해 확인된 생태적 특성과 관리 단위를 바탕으로 하늘다람쥐의 형태와 개체군 동태, 행동, 생태, 유전적 특성, 서식환경 등을 종합적으로 고려한 하늘다람쥐의 보호 및 서식지 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 등지선택, 외부기생충, 집단 유전학, 하늘다람쥐, 형태, 행동권

학 번 : 2011-31026

목 차

요 약

제1장 서 론

I. 연구 배경 및 필요성	2
II. 연구사	5
1. 형태적 특성에 관한 연구	5
2. 등지선택 및 이용에 관한 연구	7
3. 행동권에 관한 연구	9
4. 외부기생충에 관한 연구	11
5. 집단유전학에 관한 연구	13
III. 연구의 목적 및 구성	15
IV. 연구 방법	18
1. 연구 대상지	18
2. 연구 시기 및 방법	20
3. 통계 분석	20

제2장 형 태

I. 서 론	22
II. 연구 방법	24
1. 외부형태 측정	24

2. 자료 분석	26
Ⅲ. 연구 결과	27
Ⅳ. 고찰	32

제3장 등지선택 및 이용

I. 서 론	36
Ⅱ. 연구 방법	38
1. 인공등지 설치 및 모니터링	38
2. 환경요인 선정 및 조사	39
3. 자료 분석	41
Ⅲ. 연구 결과	42
1. 인공등지 이용	42
2. 선호입구 직경 및 등지재료	45
3. 등지이용 특성	49
Ⅳ. 고찰	52

제4장 행동권 및 서식지 이용

I. 서 론	56
Ⅱ. 연구 방법	58
1. 포획 및 발신기부착	58
2. 무선위치추적 및 위치좌표 도출	59
3. 행동권 및 자료 분석	60
Ⅲ. 연구 결과	64

1. 포획 및 무선위치추적	64
2. 행동권 크기	66
3. 행동권 중첩	91
4. 일일행동 및 이동거리	103
5. 서식지 이용	106
IV. 고찰	110

제5장 외부기생충

I. 서론	116
II. 연구 방법	119
1. 외부기생충 채집	119
2. 자료 분석	120
III. 연구 결과	122
IV. 고찰	129

제6장 유전 다양성 및 구조

I. 서론	132
II. 연구 방법	134
1. 샘플 수집	134
2. 미토콘드리아 DNA Cytochrome <i>b</i> 유전자	136
3. 자료 분석	138
III. 연구 결과	141
IV. 고찰	152

제7장 종합고찰 및 결론

I. 종합고찰	156
---------------	-----

II. 결 론	161
---------------	-----

참고문헌	163
------------	-----

Abstract	199
----------------	-----

The list of tables

Table. 2-1. Description of morphometric variables of Siberian flying squirrel between males and females	29
Table. 3-1. Description of the environmental variables within 5 m radius circle in this study	40
Table. 3-2. Description of breeding nest and litter size of Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	44
Table. 3-3. Description of communal nesting of Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	44
Table. 3-4. Nest materials used by Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	48
Table. 3-5. Observed values description for environmental variables according to use of Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	50
Table. 3-6. Results of logistic regression of environmental variables effects on nest use of the Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	51
Table. 4-1. Environmental factors used in spatial analysis	62
Table. 4-2. Classification and description of environmental factors	63

Table. 4-3. Information on the radio-tracked Siberian flying squirrel	65
Table. 4-4. Home range sizes of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) in Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	67
Table. 4-5. Home range sizes of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	75
Table. 4-6. Home range sizes of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	82
Table. 4-7. Home range difference of Siberian flying squirrel between breeding season and non-breeding season in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	85
Table. 4-8. Home range sizes of male and female of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) in Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	88

Table. 4-9. Home range sizes of male and female of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	89
Table. 4-10. Home range sizes of male and female of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	90
Table. 4-11. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 100% MCP (minimum convex polygon) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	92
Table. 4-12. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 99% KDE (kernel density estimator) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	93
Table. 4-13. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% MCP (minimum convex polygon) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	94
Table. 4-14. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% KDE (kernel density estimator)	

during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	95
Table. 4-15. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 100% MCP (minimum convex polygon) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	98
Table. 4-16. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 99% KDE (kernel density estimator) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	98
Table. 4-17. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% MCP (minimum convex polygon) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	99
Table. 4-18. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% KDE (kernel density estimator) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	99
Table. 4-19. Proportion of home range overlap of males and females of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	102
Table. 4-20. Topographic characteristics within home range of	

Siberian flying squirrel in Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	107
Table. 5-1. Model selection among results of linear regression between variables and flea load in Siberian flying squirrel	128
Table. 6-1. Sampling information of Siberian flying squirrel by geographic group	140
Table. 6-2. Estimated genetic diversity of Siberian flying squirrel in Eurasia	148
Table. 6-3. Estimated genetic diversity of Siberian flying squirrel in Korea	148
Table. 6-4. Results of analysis of molecular variance of Siberian flying squirrel in 3 lineages	150
Table. 6-5. Results of analysis of molecular variance of Siberian flying squirrel in 5 clades	150
Table. 6-6. Results of analysis of molecular variance of Siberian flying squirrel in Korea	150
Table. 6-7. Genetic differentiation (F_{ST} values, below diagonal) of Siberian flying squirrel in 3 lineages	151
Table. 6-8. Genetic differentiation (F_{ST} values, below diagonal) of Siberian flying squirrel in 5 clades	151
Table. 6-9. Genetic differentiation (F_{ST} values, below diagonal) of Siberian flying squirrel populations in Korea	151

The list of figures

Fig. 1-1. The framework of this study	17
Fig. 1-2. Location of the study area in Korea	19
Fig. 2-1. Measurements of small mammal (A: head-body length, B: tail length, C: hind foot length, D: skull length, E: ear length, Lowery 1974)	25
Fig. 2-2. Difference in morphometric variables of Siberian flying squirrel between males and females	30
Fig. 2-3. Difference in mean body mass of Siberian flying squirrel between Korea, Hokkaido (Ohdachi <i>et al.</i> 2015) and Finland (Selonen <i>et al.</i> 2016)	31
Fig. 2-4. Difference in mean head-body length of Siberian flying squirrel between Korea, Hokkaido (Ohdachi <i>et al.</i> 2015) and Finland (Selonen <i>et al.</i> 2016)	31
Fig. 3-1. Monthly mean % occupancy of nest boxes used by Siberian flying squirrel and number of observed individuals from Apr. 2014 to Mar. 2016 at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	43
Fig. 3-2. Number of nest boxes used by different entrance size by Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	46
Fig. 3-3. Result of Jacobs' Preference Indices for entrance sizes of nest boxes used by Siberian flying squirrel	47

Fig. 4-1. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS10, (e) SFS11, (f) SFS12, (g) SFS17, (h) SFS20, (i) SFS22, (j) SFS26, (k) SFS27, and (l) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) in Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 100%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%) 68

Fig. 4-2. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS10, (e) SFS11, (f) SFS12, (g) SFS17, (h) SFS20, (i) SFS22, (j) SFS26, (k) SFS27, and (l) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by KDE (kernel density estimator) in Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 99%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%) 71

Fig. 4-3. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS11, (e) SFS12, (f) SFS17, (g) SFS20, (h) SFS22, (i) SFS26, (j) SFS27, and (k) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 100%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%) 76

Fig. 4-4. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS11, (e) SFS12, (f) SFS17, (g) SFS20, (h) SFS22, (i) SFS26, (j) SFS27, and (k) SFS29 Siberian flying squirrel

estimated by KDE (kernel density estimator) during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 99%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%) 79

Fig. 4-5. Home range sizes of (a) SFS17, (b) SFS20, (c) SFS22, and (d) SFS26 Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 100%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%) 83

Fig. 4-6. Home range sizes of (a) SFS17, (b) SFS20, © SFS22, and (d) SFS26 Siberian flying squirrel estimated by KDE (kernel density estimator) during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 99%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%) 84

Fig. 4-7. Home range overlap of (a) MCP 100%, (b) KDE 99%, (c) MCP 50%, and (d) KDE 50% Siberian flying squirrel during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea 96

Fig. 4-8. Home range overlap of (a) MCP 100%, (b) KDE 99%, (c) MCP 50%, and (d) KDE 50% Siberian flying squirrel during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea 100

Fig. 4-9. Daily movements of Siberian flying squirrel during breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	104
Fig. 4-10. Daily movements of Siberian flying squirrel during non-breeding season in 2015 to 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	105
Fig. 4-11. Forest environmental characteristics (a)forest type, (b)forest age class, (c)DBH class, and (d)crown density within home range of Siberian flying squirrel in Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea	108
Fig. 5-1. <i>Ceratophyllus (Monopsyllus) indages</i> collected from Siberian flying squirrel (left: male, right: female, Choe <i>et al.</i> 2016)	124
Fig. 5-2. Difference in number of flea load of Siberian flying squirrel between males and females	125
Fig. 5-3. Negative correlation between body mass and number of flea load in male Siberian flying squirrel	126
Fig. 5-4. Negative correlation between body mass and number of flea load in male and female Siberian flying squirrel	127
Fig. 6-1. Sampling location of 58 haplotypes of Siberian flying squirrel. Open squares(□) indicate North West Eurasia clade, Black squares(■) indicate North East Eurasia clade, Open circles(○) indicate East Russia and China clade,	

Black circles(●) indicate Korea clade, Black triangles(▲)
 indicate Hokkaido clade 139

Fig. 6-2. Phylogenetic tree among 58 haplotype of Siberian flying squirrel on mtDNA cytochrome *b* (1,140 bp). Bayesian posterior probability (upper) and node age (below) are shown for branches 145

Fig. 6-3. Median joining network of 58 mtDNA cytochrome *b* haplotypes of Siberian flying squirrel. The size of node indicates proportional to the haplotype frequency, and the branches length is proportional to the mutational steps separating the haplotypes 146

Fig. 6-4. Median joining network of 18 mtDNA cytochrome *b* haplotypes of Siberian flying squirrel in Korea. The size of node indicates proportional to the haplotype frequency, and the branches length is proportional to the mutational steps separating the haplotypes 147

Fig. 6-5. Comparison of genetic diversity among Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*), Striped field mouse (*Apodemus agrarius*, Kim 2011), Korean field mouse (*A. peninsulae*, Kim 2011), Siberian chipmuck (*Tamias sibiricus*, Lee 2009), Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*, Lee 2009), Amur goral (*Naemorhedus caudatus*, Jeon 2015), and Leopard cat (*Prionailurus bengalensis*, NIBR 2016) 149

제1장 서론

I. 연구 배경 및 필요성

생태계에는 매우 다양한 종이 환경과 유기적인 상호작용을 하며 살아 가고 있다(Huston 1994). 일부 학자는 약 1,000만 종에 가까운 생물이 서식하고 있다고 주장하고 있으며, 현재까지 약 140만 종이 확인된 것으로 알려져 있다(Cox and Moore 2016). 그러나 최근 들어 도시화와 기후변화 등으로 인하여 생물다양성은 급격하게 감소하고 있으며, 척추동물의 31%가 야생에서 사라진 것으로 보고되었다(Wilson 1992, Global biodiversity outlook 2010). 생물다양성의 감소는 우리가 해당 종에 대한 정확한 생태 정보 및 위협요인을 파악 전에 급격하게 이루어진다(Hamper and Petit 2005). 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature: IUCN)은 전 세계에 서식하고 있는 포유류의 22%, 조류의 14%, 양서류의 32%가 멸종 위기에 직면하고 있는 것으로 발표하였다(Hilton-Taylor *et al.* 2009).

생물다양성의 감소는 그 종과 생태적으로 연관된 다른 종과 서식지 등 생태계 전반에 연쇄적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Tilman and Downing 1994, Hooper *et al.* 2012). 이러한 생물다양성 감소의 가장 큰 원인 중 하나는 서식지 감소 및 파괴이다(Currie 1991). 서식지 감소는 우리나라에서도 일어나고 있으며, 산림 벌채 및 개발 등으로 인해 매년 약 12,000ha의 산림면적이 감소하고 있는 것으로 보고되었다(환경부 2009). 이에 따라 우리나라 역시 생물다양성의 감소가 진행되고 있으며, 많은 생물종이 서식에 위협을 받거나 멸종위기에 처하고 있다(이 등 2010). 한 생물종의 보호를 위해서는 종의 생물학적, 생태학적 특성 등에 대한 기초 정보 파악이 우선적으로 필요하다(Goldsmith 1991). 이러한 정보를 바탕으로 종 또는 개체군의 보호 및 서식지의 관리가 순차적으로

이루어져야 한다(Martin *et al.* 2007).

하늘다람쥐(Siberian flying squirrel, *Pteromys volans*)는 설치목(Order Rodentia) 청설모과(Family Sciuridae) 하늘다람쥐속(Genus *Pteromys*)에 속하는 교목성 다람쥐(arboreal squirrel)로 전국 산악지대의 자연림(natural forest)과 성숙림(mature forest)에 서식하는 것으로 알려져 있다(국립생물자원관 2012). 하늘다람쥐는 딱따구리가 파 놓은 수동(樹洞)을 주로 둥지로 이용하며, 초식성에 야행성인 것으로 보고되었다(Thorington *et al.* 2012). 그리고 피부막이 발달한 비막(patagium)을 이용하여 주로 활공(gliding)을 통해 이동하며한다(원 1967, 원 1968, 원 1994, 윤 등 2004). 하늘다람쥐는 산림생태계 내 화분의 매개체, 종자산포 등의 중요한 역할을 하며, 우산종(umbrella species)으로서의 가능성 및 가치도 높은 것으로 알려져 있다(Hurme *et al.* 2008). 또한 귀엽고 친근한 외모로 사람들에게 관심을 받아 깃대종(flagship species)으로서의 가치도 높은 것으로 보고되었다(대전발전연구원 2014).

하늘다람쥐는 세계자연보전연맹의 적색목록(Red List)에서 관심대상종(Least Concern)으로 분류되고 있다(Wilson *et al.* 2016). 또한 국내에서는 멸종위기야생생물 II급 및 천연기념물 제328호로 지정하여 보호하고 있다(환경부 2012). 국내와 마찬가지로 하늘다람쥐는 핀란드에서도 멸종위기종으로 지정되어 있다(Hanski *et al.* 2000). 핀란드에서 20년 이상의 장기적인 연구를 수행한 결과, 하늘다람쥐의 개체수는 지속적으로 감소하고 있는 추세에 있는 것으로 보고되었다(Koskimäki *et al.* 2014). 그리고 에스토니아와 러시아의 일부 지역에도 개체수가 감소하고 있는 것으로 나타났다(Hanski 1998). 국내에 서식하는 하늘다람쥐 또한 개체수가 감소하고 있는 것으로 보고되었지만, 개체수 및 개체군에 대한 정보는 아직까지 정확하게 알려지지 않았다.

하늘다람쥐는 넓은 분포권에도 불구하고 핀란드와 일본 북해도 등 몇몇 지역에 국한되어 연구가 수행되어 왔다(Hanski *et al.* 2000, Lampila *et al.* 2009, Nakama and Yanagawa 2009, Kadoya *et al.* 2010, Suzuki *et al.* 2013, Selonon *et al.* 2016). 이와 같이 국지적으로 연구가 수행된 것은 산림의 수관부에서 주로 활동하고 야행성이라는 하늘다람쥐의 특성에 따라 원활한 연구가 어려웠기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 하늘다람쥐는 북유럽의 핀란드와 러시아, 몽골, 중국, 한국, 일본의 북해도 등 유라시아 대륙의 북쪽에 폭넓게 분포하고 있어 형태와 생태, 유전적 특성에 대한 지역별 비교에 유용할 것으로 생각된다(Nandi 2011).

국내 서식하는 하늘다람쥐의 보전 및 관리를 위해서는 우선적으로 하늘다람쥐의 생태 및 서식지에 대한 객관적이고 구체적인 정보가 확보되어야 한다(Clark *et al.* 2002). 이에 따라 하늘다람쥐의 보전 방안 수립을 위한 생물학적, 생태학적, 유전적 특성에 대한 연구가 요구되고 있다(Santangeli *et al.* 2013). 이러한 종합적인 특성에 대한 구명은 환경에 대한 종의 적응을 파악하기 위해서도 매우 중요하다(Fortin *et al.* 2005). 따라서 하늘다람쥐 분포의 최남단으로 알려진 국내에 서식하는 하늘다람쥐의 형태와 생태, 유전적 특성에 대한 정량적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그리고 이를 통해 얻어진 결과를 바탕으로 하늘다람쥐의 종합적인 특성을 고려한 보호 및 관리방안에 대한 고찰이 필요할 것으로 판단된다.

II. 연구사

1. 형태적 특성에 관한 연구

포유류의 형태적 특성은 환경의 변화에 따른 적응과 진화 등의 상호작용(interaction)을 결정하는 요소로 작용한다(Kemp 2005, Millien 2011). 이에 따라 형태적 특성에 관한 연구는 과거부터 지금까지 활발하게 연구되어 왔다(Swidorski 1993, 2005, Blois *et al.* 2008). 형태적 특성의 초기연구는 크기와 체중 등을 통한 연령 추정(Kunz *et al.* 1996, Speakman *et al.* 2003)과, 성적이형성 확인(Loy *et al.* 2004, Robins 2006) 등 종이나 아종의 분류학적 근거를 목적으로 수행되었다(Gündüz *et al.* 2007, Rocha *et al.* 2011, Amori *et al.* 2014). 그리고 최근에는 먹이와 포식 위험에 따른 형태적 특성의 변화(Pergams and Lacy 2008, Eastman *et al.* 2012)와 서식지 파괴 및 환경 변화로 발생하는 변화 등 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다(Smith *et al.* 2010).

교목성 다람쥐류의 형태적 특성은 번식 성공과 경쟁, 포식자로부터의 회피 등의 요인과 관계가 깊은 것으로 알려져 있으며 종이나 개체군, 지역에 따라 다양하게 나타나는 것으로 보고되었다(Wauters and Dhondt 1995, Humphries and Boutin 1996, Lucas *et al.* 2007). 날다람쥐류는 대부분 암컷편향적 성적이형성을 나타내며, 성별에 따른 형태적 차이는 번식 성공에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Nandini 2011). 북미에 서식하는 *Spermophilus columbianus* 암컷은 번식기에 한배새끼수와 번식 성공률을 높이기 위하여 체중을 증가시키는 것으로 확인되었다(Neuhaus *et al.* 2004). 반면에 번식기 수컷은 체중을 감소시키는 것으로 나타났으며,

이는 이동 시 민첩성을 증가시켜 효과적인 세력권 방어와 원활한 번식활동을 위한 것으로 보고되었다(Eastman *et al.* 2012). 본 연구의 대상종인 하늘다람쥐 역시 성별에 따라 번식기 체중변화를 통해 번식성공률을 높이는 것으로 알려져 있다(Selonen *et al.* 2013, Selonen *et al.* 2016).

형태적 특성은 동일 종 내에서도 지리적 분포에 따른 변이가 나타나는 것으로 알려져 있다(Bergmann 1847). 이는 서식환경에 대한 적응에 따른 것으로 다양한 종에 걸쳐 연구되어 왔다(Blackburn *et al.* 1999). 캐나다 퀘벡에 서식하는 날다람쥐인 *Glaucomys volans*를 대상으로 형태적 특성을 비교한 결과, 형태적 특성이 북미 대륙의 서쪽 개체군보다 큰 것으로 확인되었다(Lazure *et al.* 2016). 이와 같이 형태적 특성은 해당 종의 적응과 생존 전략을 파악할 수 있어 생태학 연구에 있어 중요한 분야이다(Berens *et al.* 2016).

국내에서는 고라니의 성적이형성에 대한 연구(Kim *et al.* 2013)와 노루의 형태적 특성을 통한 아종 분류에 관한 연구(박 2009), 산양의 외부형태(김 2011), 제주족제비의 외부형태(이 2016) 등이 수행되었다. 그러나 적은 샘플수를 대상으로 분석한 결과에 그치고 있으며, 다양한 분류군에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 특히 본 연구의 대상종인 하늘다람쥐에 대한 형태학적 연구는 국내외 적으로 알려지지 않아 형태적 특성에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

2. 둥지선택 및 이용에 관한 연구

둥지와 서식지의 선택 및 이용은 종의 분포, 번식, 활동양상 등 전반적인 생태와 밀접한 연관이 있으며, 해당 종의 생태적 특성을 파악하는데 있어 중요한 연구 분야이다(Hackett and Pagels 2003). 둥지선택은 주변 환경과 이용 가능한 자원에 따라 여러 가지 요인과 일련의 과정을 통해 결정된다(Johnson 1980, Garshelis 2000). 둥지 선택을 파악하기 위한 연구방법 중 인공둥지를 이용한 방법은 자연 수동이 부족한 지역에서 수동을 이용하는 교목성 다람쥐류의 둥지 선택 및 이용 특성을 파악할 수 있는 좋은 연구방법으로 알려져 있다(Durant *et al.* 2009, Suzuki *et al.* 2013, Shuttleworth and Schuchert 2014, Goldingay 2017).

교목성 다람쥐류는 계절별 먹이, 포식압의 위협으로부터의 회피, 번식 등에 따라 서식지 내 두 개 이상의 둥지를 이용하는 것으로 보고되었다(Cowan 1936, Carey *et al.* 1997, Hough and Dieter 2009). 교목성 다람쥐류 및 날다람쥐류는 대부분 수관부에서 생활하며, 활공을 통해 이동하는 것으로 알려져 있다(Hanski *et al.* 2000, Halloway and Malcom 2007). 이에 따라 숲의 구조와 둥지나무의 특성은 날다람쥐류의 둥지선택에 있어 중요한 요인으로 알려져 있다(Kadoya *et al.* 2010). 북아메리카와 캐나다에 서식하는 날다람쥐인 *Glaucomys sabrinus*은 침엽수림과 혼효림에 서식하는 것으로 보고되었으나(Vernes 2001), 최근에는 개발에 따른 서식환경의 변화에 따라 활엽수림의 이용비율이 더욱 높은 것으로 나타났다(Vernes *et al.* 2004).

둥지선택은 동종 내에서도 지역 및 환경에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다(Briani *et al.* 2001). 북해도에 서식하는 하늘다람쥐는 흉고

직경이 큰 사할린전나무(*Abies sachalinensis*)를 등지수종으로 선호하는 것으로 보고되었다(Nakama and Yanagawa 2009, Suzuki *et al.* 2013). 반면, 핀란드에 서식하는 하늘다람쥐는 수고가 높은 독일가문비나무(*Picea abies*)를 선호하는 것으로 확인되었다(Selonen *et al.* 2001, Koskimäki *et al.* 2014). 이에 따라 등지선택 및 이용에 대한 연구는 다양한 지역에서 장기적으로 수행될 필요가 있다(Menzel *et al.* 2006).

국내에서 수행된 하늘다람쥐의 등지 및 서식지 이용에 관한 연구 결과, 하늘다람쥐는 대경목의 침엽수를 등지로 선택하고 수관밀도가 높은 산림을 선호하는 것으로 보고되었다(조 등. 2013). 인공등지를 이용한 연구도 수행되었으나, 단순한 이용률 파악 및 경향을 파악하는데 그쳤다(임 등 2017). 또한 하늘다람쥐의 배설지 특성은 지역에 따라 활엽수림과 침엽수림의 수간분지점을 모두 배설지로 이용하는 것으로 나타났다(우 등 2013, 조 등 2013, 임 등 2016). 그러나 이와 같은 연구는 일본잎갈나무(*Larix kaempferi*) 조림지와 같은 특정 지역에서 단기간에 수행되어 다양한 공간적 규모에서 정량적으로 수행되지 않았다. 따라서 인공등지를 이용한 국내 하늘다람쥐의 등지 선택 및 이용에 대한 장기적이고 정량적인 연구가 수행될 필요가 있다고 생각된다.

3. 행동권에 관한 연구

포유류의 행동권에 대한 연구는 종의 분포와 밀도, 서식환경, 행동패턴 등을 이해하는데 중요한 분야이다(Vieira *et al.* 2005). 특히 소형포유류 및 교목성 다람쥐의 행동권 및 이동특성에 대한 연구는 종의 생태와 환경에 대한 적응과정을 이해하고 해석하는데 중요한 분야로 알려져 있다(Brown 1966, Hanski *et al.* 2000). 교목성 다람쥐류의 행동권 연구는 초기에는 크기와 양상, 성별과 서식환경에 따른 행동권 비교 및 차이 파악 등에 대한 연구가 주로 수행되었다(Hanski *et al.* 2000, Mysterud *et al.* 2001). 최근에는 행동권의 시공간적 변화, 행동권 및 이동에 영향을 미치는 다양한 환경 인자에 관한 연구 등이 활발하게 이루어지고 있다(Lurz *et al.* 2000, Schradin and Pillay 2005, Blois *et al.* 2008, Fauteux *et al.* 2012, Haigh *et al.* 2017).

행동권 파악은 각 분류군이나 종의 특성에 따라 다양한 방법으로 진행되어 왔다(이 등 2010). 주로 나무위에서 생활하고 이동하는 교목성 다람쥐의 행동권 연구에는 무선위치추적방법(radio-tracking)이 가장 많이 이용되고 있다(Menzel *et al.* 2006, Blondel *et al.* 2009, Mäkeläinen *et al.* 2016). 무선위치추적방법은 적지 않은 비용이 소모되지만, 보다 정확한 정보를 얻을 수 있고 개체에 큰 간섭을 주지 않아 행동권 연구에 있어 효과적인 방법으로 알려져 있다(Wauters *et al.* 2007). 따라서 국외에서는 무선위치추적방법을 이용하여 소형포유류 및 날다람쥐의 행동권과 이동특성, 분산, 서식지 이용을 파악하는 등 다양한 연구가 수행되어 왔다(Bendel *et al.* 2000, Kuo *et al.* 2012, Jacques *et al.* 2017). 그러나 하늘다람쥐의 행동권에 대한 연구는 주로 핀란드에서 활발하게 연구되었으며, 다른 지역의 행동권 크기는 거의 알려지지 않았다.

핀란드 이티(Iitti) 지역에 서식하는 하늘다람쥐의 행동권은 2.2ha에서 59.9ha로 다른 날다람쥐에 비해 행동권이 크게 나타는 것으로 보고되었다(Hanski 1998). 또한 하늘다람쥐 수컷의 행동권은 암컷보다 약 6배정도 넓은 것으로 나타났다(Hanski *et al.* 2000). 핀란드 북부 지역과 남부 지역의 행동권 크기를 파악한 결과, 지역에 따라 행동권 크기가 다르게 나타는 것으로 보고되었다(Hurme *et al.* 2005). 핀란드 북부 지역의 서식환경은 성숙림으로 구성되어 보호되고 있으며, 남부 지역은 성숙림 및 목재생산을 위한 조림지 등의 패치 형태를 보이는 것으로 알려져 있다(Reunanen *et al.* 2002). 이에 따라 하늘다람쥐가 주로 먹이활동을 하는 활엽수림의 비율이 남부지역에서 상대적으로 낮아 남부지역의 행동권 크기가 더 크게 나타난 것으로 확인되었다(Hurme *et al.* 2007).

이와 같이 행동권은 분포 지역의 서식 환경에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있어 국내에서도 하늘다람쥐의 행동권에 대한 연구가 필요하다고 생각된다. 그러나 국내 포유류의 행동권 연구는 주로 중대형 포유류를 대상으로 이루어 졌다(최와 박 2006, 우 2010, 박 2013, 우 2014, 김 2015). 일부 소형포유류를 대상으로 한 행동권 연구도 수행되었으나(이 2011), 본 연구의 대상종인 하늘다람쥐의 행동권에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 따라 하늘다람쥐의 정확한 행동권 파악이 필요할 것으로 생각된다.

4. 외부기생충에 관한 연구

교목성 다람쥐류와 날다람쥐류의 외부기생충에 대한 연구는 1950년대 부터 시작되었으며, 초기에는 단순한 현황 파악에 대한 연구가 주로 이루어졌다(Morlan 1952, Mohr and Morlan 1959). 이러한 외부기생충 중 벼룩은 날다람쥐의 몸에 기생하며, 병원균을 매개로하여 숙주의 건강을 악화시키는 것으로 보고되었다(Sonenshine *et al.* 1978, Bozeman *et al.* 1981). 최근에는 기생충이 숙주에 미치는 영향 등 숙주와 외부기생충의 관계 파악에 대한 연구가 수행되고 있다(Gorrell and Schulte-Hostedde 2008, Patterson *et al.* 2015).

날다람쥐류는 *Glucomys* 속과 *Petaurista* 속을 대상으로 외부기생충에 대한 연구가 주로 수행되었으며, 외부기생충 감염 현황과 숙주의 분포에 따른 기생충의 분포 등에 대한 연구가 진행되었다(Pung *et al.* 2000, Shinozaki *et al.* 2004). 외부기생충은 숙주의 성별과 몸 크기 등에 따라 감염 기생충의 풍부도 및 감염수가 다르게 나타나는 것으로 보고되었다(Patterson and Ruckstuhl 2013). 이에 따라 외부기생충은 숙주의 상태에 따라 선택적으로 기생하는 것으로 확인되었다(Day and Benton 1980). 미국에 서식하는 날다람쥐인 *Glaucomys abrinus*을 대상으로 외부기생충에 대하여 분석한 결과, 활동성이 큰 수컷과 크기가 작은 개체에서 외부기생충의 풍부도 및 감염수가 높은 것으로 나타났다(Perez-Orella and Schulte-Hostedde 2005).

하늘다람쥐의 외부기생충에 대한 연구는 핀란드에서 한 차례 보고되었다. 핀란드에서 수행된 결과에 따르면 하늘다람쥐에 기생하는 벼룩은 2종으로 확인되었으며, 계절에 따라 개체군 동태(population dynamics)가 다르게 나타나는 것으로 보고되었다. 또한 벼룩의 종에 따라 서식공간을 달

리하여 경쟁을 피하는 것으로 확인되었다(Haukisalmi and Hanski 2007). 이처럼 외부기생충에 대한 연구는 숙주의 외부기생충 현황을 파악하고 감염 요인, 잠재적 질병 확인을 위해 필요하다. 또한 숙주와 외부기생충과의 관계 확인을 통해 진화적 메커니즘에 대한 파악도 할 수 있어 중요한 연구 분야로 알려져 있다(Krasnov 2008).

국내에서 수행된 야생동물의 기생충에 대한 연구는 주로 가축이나 사육 상태의 동물을 중심으로 이루어졌다(김 2003, 박 2008, 이 2010). 야생동물을 대상으로 수행된 연구는 일부 설치류를 대상으로 질병매개에 대한 실태조사에 집중되어 왔다(서 2009, 정 2015). 또한 다람쥐와 청설모를 대상으로 외부기생충 연구가 진행되었으나 현황파악에 그치고 있는 실정이며, 그 외 다른 종에 대해서는 거의 알려지지 않았다(Tipton *et al.* 1972, Choe *et al.* 2016). 특히 본 연구의 대상종인 하늘다람쥐의 외부기생충에 대한 연구는 감염 기생충 현황도 되지 않고 있는 실정이다. 또한 숙주인 야생동물과 기생충의 관계나 영향에 대한 직접적인 실험이나 연구는 몇몇 보고되었으나, 단순 비교에 그치는 등 아직까지 미흡한 실정이다(어 2010, 이 2013).

5. 집단유전학에 관한 연구

유전 다양성 및 구조의 이해는 해당 종의 보호와 보전을 위해서 중요하다(Hillis *et al.* 1996). 이를 통해 유전자의 지역적 손실과 단절, 고립, 분화 등에 대한 정보를 확인할 수 있으며, 분류학적으로 불명확한 종에 대한 근거를 제공하여 명확하게 종을 구분할 수 있다(Avise 1994, Bowen and Karl 2007). 또한 멸종위기에 처한 종의 위협요인이 서식지 파괴 및 감소로 인한 것인지 유전적 결합에 따른 문제인지 판단할 수 있는 근거 자료를 제공한다(Mills 2007, Balkenhol and Waits 2009).

집단유전학적 연구는 국내 야생동물의 여러 분류군과 다양한 종을 대상으로 수행되어 왔다. 그리고 형태학적 특성과 유전학적 특성을 비교하여 정밀하고 정확한 종의 분류에 관한 연구도 수행되었다(안 2006, 박 2009, 윤 2010, 나 2015, 송 2015). 또한 종과 아종, 개체군의 분포와 분화, 유전 다양성 및 구조에 대한 연구 등도 보고되었다(정 2004, 김 2011, Eo *et al.* 2011). 그러나 주로 분포가 넓은 종에 대한 연구가 보고되었으며, 국내 개체군에 대한 유전적 특성에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다(이 2009, 이 2016).

하늘다람쥐의 집단 유전학적 연구는 2000년대 초부터 진행되어 왔으나 넓은 분포에 비해 연구자가 많지 않고 샘플 확보의 어려움에 따라 활발하게 이뤄지지 않는 상태였다. 국내 개체군을 제외한 유라시아 지역 하늘다람쥐의 미토콘드리아 DNA를 이용한 계통 유연관계에 대한 연구가 실시되었다(Oshida *et al.* 2005). 이후 국내 개체군을 포함한 연구가 추가적으로 수행된 결과, 유라시아 지역의 하늘다람쥐는 북유라시아와 극동지역, 북해도 지역으로 구분되는 것으로 보고되었으며, 유라시아 지역에 따라 유전 다양성 및 구조에 차이가 나타나는 것으로 확인되었다(Lee *et*

al. 2008, Yalkovskaya *et al.* 2015).

이와 같은 연구를 통해 유라시아 지역 하늘다람쥐의 유전 다양성과 구조는 확인되었지만, 국내 하늘다람쥐 개체군에 대한 유전학적 특성은 아직까지 밝혀지지 않았다. 유라시아 지역 하늘다람쥐의 계통 유연관계에 대한 기존연구에서 국내 하늘다람쥐 개체군의 정보도 포함되었다(Lee *et al.* 2008). 그러나 부족한 샘플수로 인해 국내 하늘다람쥐의 지역별 유전 다양성 및 구조를 파악하기에는 한계점이 있었다. 이와 같이 국내 하늘다람쥐의 집단 유전학적 연구는 아직까지 부족한 실정이다.

Ⅲ. 연구의 목적 및 구성

최근 무분별한 개발과 서식지 파괴 등으로 인하여 많은 야생동물이 빠른 속도로 멸종위기에 처하고 있으며 이에 대한 보전 및 관리에 관한 연구의 중요성이 부각되고 있다. 하늘다람쥐는 유라시아 지역에 넓게 분포하며, 국내에서는 법정보호종으로 지정되었다. 그러나 국내에서 하늘다람쥐에 대한 연구는 전반적으로 부족한 실정이며, 형태와 생태, 유전적 특성에 대해 알려진 바가 매우 적다.

따라서 본 연구의 목적은 천연기념물이자 멸종위기종인 하늘다람쥐의 1) 형태적 특성을 구명하고, 2) 둥지선택 및 이용 특성을 파악하고, 3) 행동권을 구명하는 것이다. 그리고 4) 외부기생충과의 관계를 밝히고, 5) 유전 다양성 및 구조를 확인하여 하늘다람쥐의 전반적이고 종합적인 특성을 구명하는 것이다. 이를 바탕으로 국내 하늘다람쥐의 과학적이고 합리적인 보전 및 관리를 위한 근거자료로 활용하고자 하였다.

하늘다람쥐의 형태적 특성은 외부형태적 특성을 측정하고 성별에 따라 비교하여 성적이형성(sexual dimorphism)을 파악하였다. 또한 핀란드와 북해도 지역에 서식하는 개체군의 외부형태 측정치와 비교하였다. 둥지선택 및 이용에 대한 연구는 하늘다람쥐의 인공둥지 이용과 선택에 영향을 미치는 환경요인을 조사하고 분석하였다. 그리고 하늘다람쥐의 행동권을 파악하고 시기별, 성별에 따른 행동권 크기 비교와 행동권 중첩 및 서식지 이용 등의 공간적 특성을 파악하였다. 하늘다람쥐와 외부기생충의 관계 파악을 위해 하늘다람쥐에 기생하는 외부기생충을 채집하여 감염 현황과 관계에 대해 확인하였다. 또한 미토콘드리아 유전자 분석을 통해 하늘다람쥐의 유전 다양성 및 구조에 대해 확인하고 국내 하늘다람

쥐의 유전적 특성 및 보전 단위 설정에 대하여 고찰하였다. 위의 자료를 바탕으로 국내 서식하는 하늘다람쥐의 형태와 생태, 유전적 특성에 대하여 종합적으로 고찰하였으며, 하늘다람쥐의 과학적이고 합리적인 보전 및 관리방안을 모색하고자 하였다(Fig. 1-1).

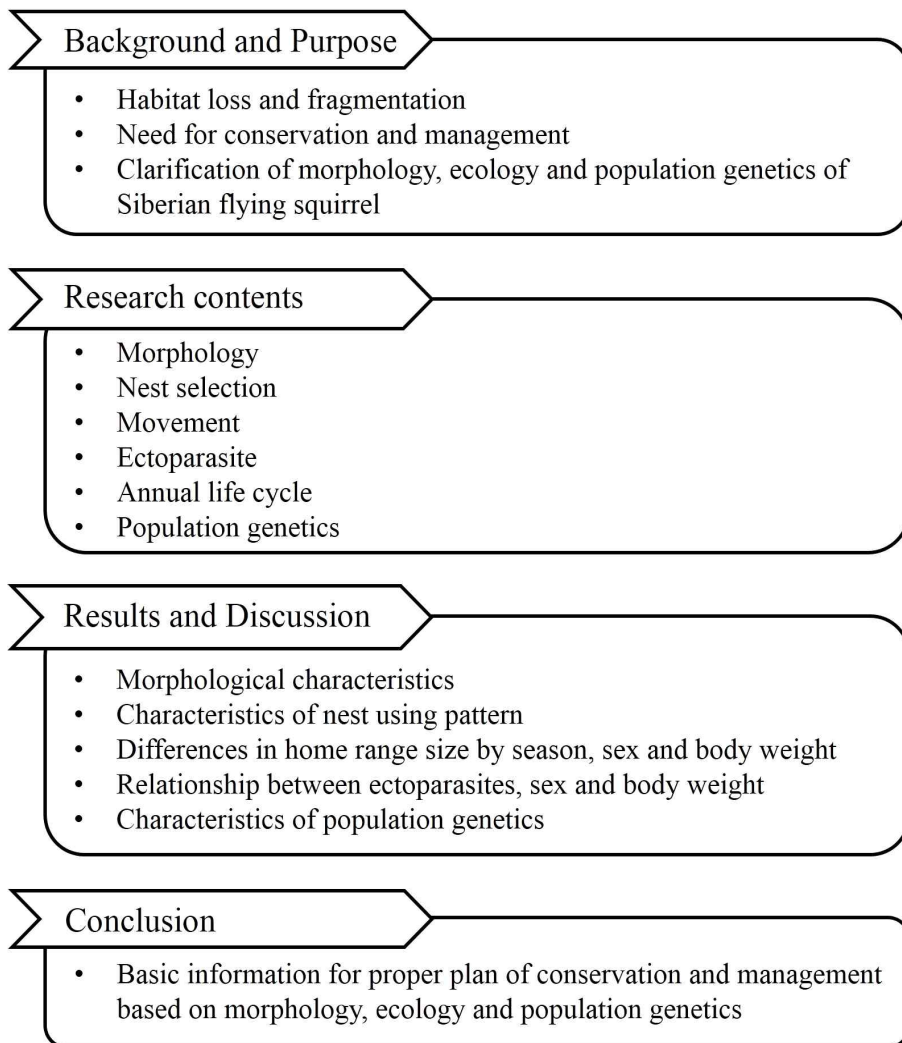


Fig. 1-1. The framework of this study

IV. 연구 방법

1. 연구 대상지

본 연구의 대상지역은 행정구역상 강원도 원주시 판부면과 충청북도 제천시 백운면에 속하는 백운산 일대로서, 북위 37° 15 ' 43.90 " , 동경 127° 56 ' 20.72 " 에 위치하고 있으며, 해발고도는 1,087m이다(Fig. 1-2). 이 지역의 연평균 기온은 11.9°C, 연평균 강수량은 1,372mm를 나타낸다(기상청 2016). 대표적인 백운산 지역의 식생은 소나무(*Pinus densiflora*)와 낙엽송(*Larix kaempferi*), 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*) 등으로 혼효림을 이루고 있다. 하늘다람쥐 유전자 샘플 수집은 백운산과 대전 보문산(북위 36° 17 ' 47.48 " , 동경 127° 25 ' 0.53 ")에서 주로 실시하였으며, 전라남도 광주에서 로드킬 된 샘플을 수집 하였다.

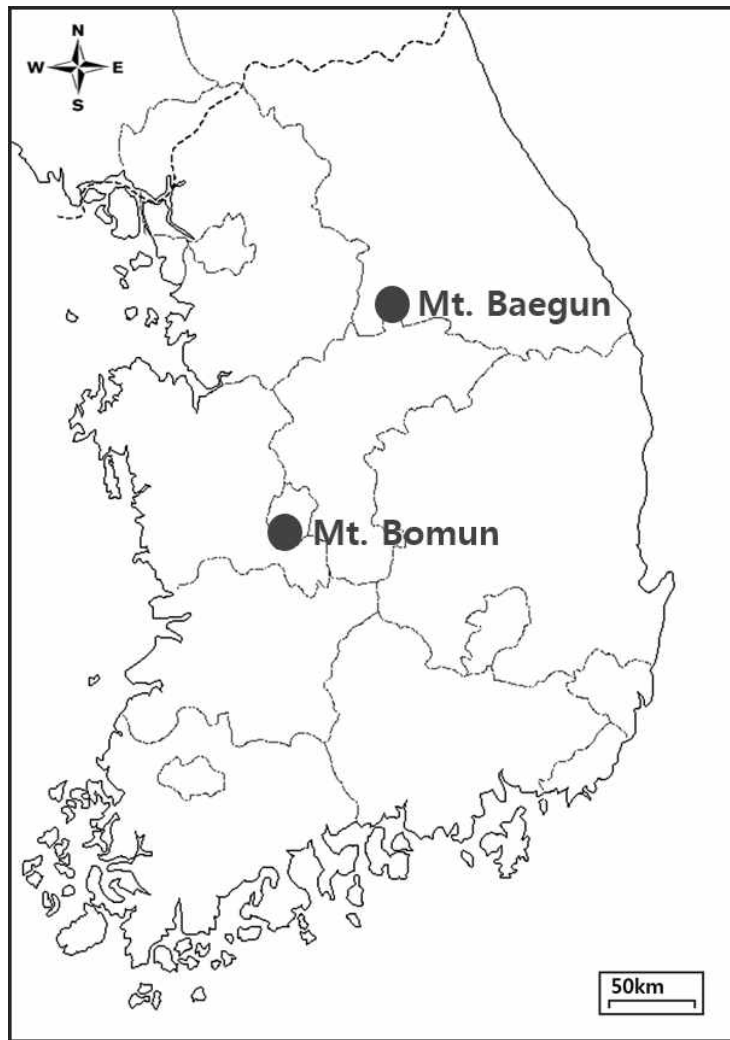


Fig. 1-2. Location of the study areas in Korea

2. 연구 시기 및 방법

본 연구는 2014년 4월부터 2016년 6월까지 실시하였다. 하늘다람쥐의 둥지선택 및 이용 특성을 파악하기 위한 인공둥지 모니터링은 2014년 4월부터 2016년 3월까지 매달 실시하였다. 산림환경 조사는 식생 피도량이 최대가 되는 2015년 7월과 8월에 모든 둥지 설치지점에서 실시하였다. 그리고 하늘다람쥐의 형태적 특성을 파악하기 위해 인공둥지 모니터링 시 포획된 개체에 대해 개체표지를 하고 외부측정을 실시하였다. 이때 하늘다람쥐의 외부기생충 채집도 함께 진행하였다. 또한 유전학적 분석을 위한 유전자 시료 수집도 실시하였다. 하늘다람쥐의 행동권 및 서식지 이용을 파악하기 위해 2015년 2월부터 2016년 6월까지 무선위치추적을 실시하였다.

3. 통계 분석

통계 분석은 SPSS 통계 패키지(IBM SPSS statistics 20)와 R 프로그램, DnaSP v5.10, Beast2, Network v4.6.1.2, Arlequin v3.5.2.2을 이용하여 분석하였다. 그리고 자료의 성격에 따라 Analysis of Molecular Variance (AMOVA), backward stepwise logistic regression, Kruskal-Wallis test, linear regression analysis, Mann-Whitney U test, pairwise distance test, t-test 등을 실시하였다.

제2장 형 태

I. 서론

형태적 특성은 개체나 성별에 따라 몸의 전체 혹은 특정 부위가 생존에 유리한 방향으로 진화되어 왔다(Andersson 1994, Szekely *et al.* 2000). 이러한 형태적 특성은 동일 종 내에서도 환경과 서식 밀도에 따라 다양하게 나타나는 것으로 보고되었다(Tor'go *et al.* 2006). 이와 같이 형태적 특성은 환경의 변화에 대한 적응과 진화과정의 결과로 알려져 있으며, 지속적으로 연구되어 왔다(Kemp 2005, Millien 2011). 특히 크기와 체중 등의 외부측정치는 종 및 아종의 분류에 중요한 항목으로 사용되어 왔다(Kunz *et al.* 1996, Speakman *et al.* 2003, Gündüz *et al.* 2007, Amori *et al.* 2014). 또한 형태적 특성은 번식체계에 따라 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있어 해당 종의 번식 전략과 같은 생태적 특성의 깊은 이해를 위해 중요하다(Rocha *et al.* 2011).

형태적 특성이 성별에 따라 다르게 나타나는 것을 성적이형성(sexual dimorphism)이라고 한다(Shine 1989). 성적이형성은 암컷보다 수컷이 큰 수컷편향적 성적이형성(male-biased sexual dimorphism)과 수컷보다 암컷이 큰 암컷편향적 성적이형성(female-biased sexual dimorphism)으로 구분된다(Storz *et al.* 2001). 포유류는 일반적으로 수컷편향적 성적이형성을 보이는 것으로 알려져 있다(Fairbairn *et al.* 2008). 이와 같은 성적이형성은 번식체계에 따라 다르게 나타나는 것으로 보고되었다(Storz *et al.* 2001). 번식체계가 복잡한 복혼성(polygamy)과 난혼성(promiscuity)인 경우 단혼성(monogamy)에 비해 성적이형성의 차이가 크게 나타나는 것으로 보고되었다(Bjorklund 1991, Clutton-Brock 2007).

다람쥐류는 개활지부터 식생이 발달한 지역 등 다양한 환경과 기후대에

서식한다(Thorington *et al.* 2012). 또한 다람쥐류는 생활방식이 다양하며, 수컷편향적 성적이형성과 암컷편향적 성적이형성이 모두 나타나는 분류군으로 보고되어, 다람쥐류는 형태적 특성과 성적이형성에 대한 연구에 적합한 분류군으로 알려져 있다(Ralls 1976, (Nandini 2011)). 이 중 주행성 다람쥐류는 수컷의 크기가 클수록 세력권 방어와 경쟁에서 우위를 점하고, 번식성공률을 높이는 것으로 보고되었다(Lucas *et al.* 2007). 반면, 야행성 다람쥐류는 주로 단독으로 생활하고 세력권 방어나 경쟁이 주행성 다람쥐류에 비해 상대적으로 적기 때문에 암컷편향적 성적이형성을 보이는 쪽으로 진화한 것으로 보고되었다(Nandini 2011).

국내 서식하는 하늘다람쥐의 형태적 특성에 대한 정보는 아직까지 정확하게 알려지지 않았다. 외부형태측정을 통한 성적이형성 확인은 종이나 개체에 대한 번식 및 생존 전략을 파악할 수 있어 멸종위기종인 하늘다람쥐 연구에도 필요한 분야라고 생각된다(Selonen *et al.* 2013). 우리나라는 하늘다람쥐 분포의 최남단 지역으로 알려져 있으며, 하늘다람쥐의 형태적 특성이 알려진 핀란드와 북해도 지역과 위도에 따른 지리적 차이가 크다(Ohdachi *et al.* 2015). 이러한 지리적 차이에 따라 기후대 및 서식환경 또한 다를 것으로 추정되며, 국내 개체군의 형태적 특성은 다른 지역에 서식하는 개체군과 형태적으로 차이가 나타날 것으로 생각된다.

본 연구의 목적은 국내 하늘다람쥐의 환경 변화에 따른 적응에 대해 알아보기 위해 실시하였다. 이를 위해 국내 하늘다람쥐의 외부형태를 측정하고 성적이형성을 확인하였다. 또한 국내 하늘다람쥐의 외부형태 측정치와 국외 개체군의 외부형태 측정치를 비교하였다.

II. 연구방법

1. 외부형태 측정

하늘다람쥐의 형태적 특성을 파악하기 위하여 2014년 4월부터 2016년 3월까지 인공둥지 모니터링 시 하늘다람쥐가 확인된 곳의 새집입구를 막아 포획을 실시하였다. 포획된 하늘다람쥐 성체를 대상으로 성별(sex)을 판별하고 체중(body mass), 머리-몸통의 길이(head-body length), 꼬리길이(tail length), 뒷발길이(hind foot length), 두개골길이(skull length), 귀길이(ear length) 등 6 가지의 외부형태학적 특성을 측정하여 야장에 기록하였다(Lowery 1974, Fig. 2-1). 하늘다람쥐의 성별 확인은 수컷과 암컷의 생식기의 위치 확인을 통해 판별하였다(Barnett and Dutton 1995). 체중은 용수철저울(Pesola, 최소눈금 0.1g)로 측정하였고 머리-몸통의 길이, 꼬리길이는 휴대용 자로 측정하였다. 그리고 뒷발길리와 두개골길이, 귀길이는 버니어캘리퍼스(ecotone, 최소눈금 0.05mm)로 측정하였다. 외부형태 측정 시 측정수치의 오차와 측정부위의 오류를 줄이기 위하여 단일 연구자에 의해 얻어진 측정치만을 이용하였다(Maldonado *et al.* 2004, Goodman *et al.* 2009). 하늘다람쥐의 외부형태적 특성에 대한 측정은 성체만을 대상으로 실시하였다.

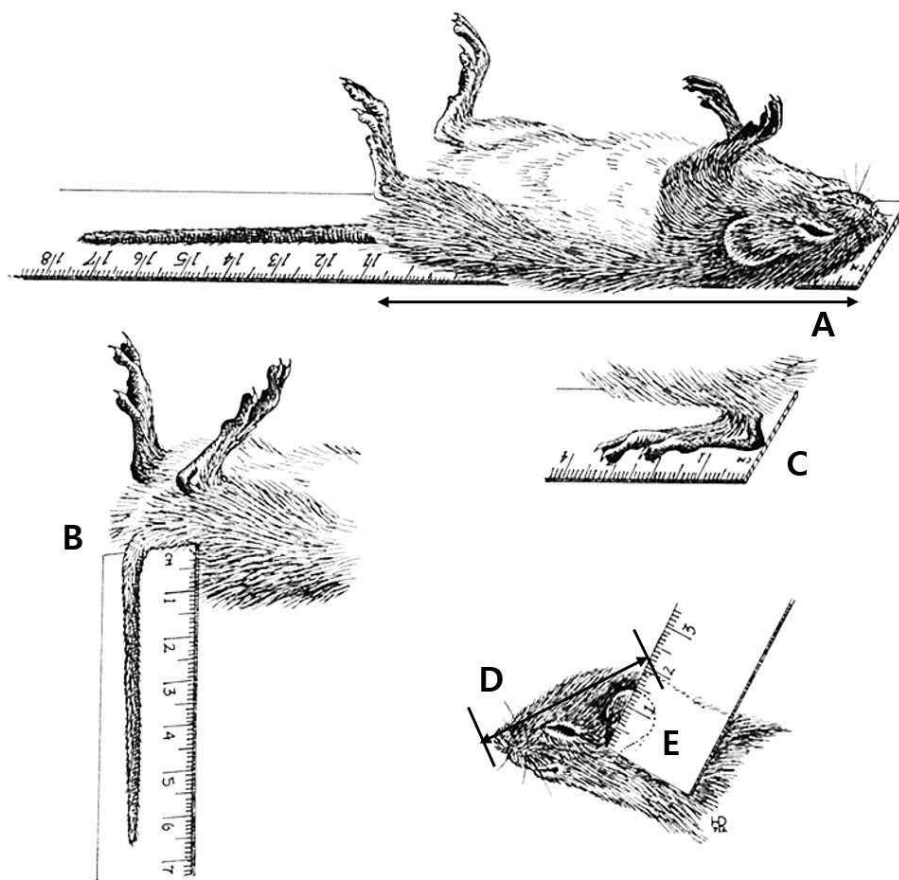


Fig. 2-1. Measurements of small mammal (A: head-body length, B: tail length, C: hind foot length, D: skull length, E: ear length, Lowery 1974)

2. 자료 분석

하늘다람쥐 수컷과 암컷의 외부형태적 특성 및 성적이형성 파악을 위해 측정치에 대한 정규성 검증 후 t-test를 실시하였다. 측정된 외부측정치를 바탕으로 아래의 식을 이용하여 하늘다람쥐의 수컷과 암컷의 성적이형성지수를 산출하였다(sexual dimorphic index: *SDI*, Smith 1999).

$$SDI = \frac{f - m}{(m + f)} \times 100$$

여기에서 m 은 수컷의 평균 외부형태측정치 값을 말하며, f 은 암컷의 평균 외부형태측정치 값을 뜻한다. *SDI*값이 0보다 크게 나타나면 암컷편향적 성적이형성(female-biased sexual dimorphism)을 보인다는 것을 의미한다. 반대로 *SDI*값이 0보다 작게 나타나면 수컷편향적 성적이형성을 나타내는 것을 뜻한다.

Ⅲ. 연구결과

강원도 원주 백운산에서 하늘다람쥐 성체 수컷 32마리와 암컷 19마리 총 51마리의 외부형태학적 특성을 측정하였다. 하늘다람쥐의 6가지 외부 형태적 특성을 측정하고 성별에 따라 비교한 결과 꼬리길이(t -test, $F=0.02$, $p=0.00$)와 뒷발길이($F=0.24$, $p=0.04$) 두개골길이($F=4.13$, $p=0.04$)에서 유의한 차이가 확인되었다(Table 2-1). 그러나 체중($F=5.98$, $p=0.29$)과 머리-몸통의 길이($F=1.69$, $p=0.28$), 귀길이($F=0.52$, $p=0.68$)에서는 성별에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았다.

하늘다람쥐의 형태적 특성 중 체중은 수컷이 $102.59 \pm 11.13\text{g}$, 암컷이 $107.24 \pm 16.85\text{g}$ 로 나타났으며 머리-몸통의 길이는 수컷이 $151 \pm 5.69\text{mm}$, 암컷은 $153.16 \pm 8.39\text{mm}$ 로 확인되었다. 그리고 꼬리길이는 수컷이 $138.41 \pm 8.82\text{mm}$, 암컷은 $147.47 \pm 9.05\text{mm}$ 로 파악되었다. 하늘다람쥐의 뒷발길이는 수컷이 $31.92 \pm 1.32\text{mm}$, 암컷은 $32.69 \pm 1.15\text{mm}$ 로 나타났다. 두개골길이는 수컷이 $39.52 \pm 2.23\text{mm}$, 암컷은 $40.69 \pm 1.18\text{mm}$ 로 확인되었고 귀길이는 수컷이 $20.10 \pm 1.25\text{mm}$, 암컷이 $19.93 \pm 1.54\text{mm}$ 로 나타났다(Fig. 2-2). 그리고 외부 형태학적 측정치 6개 모두에서 차이가 크지는 않지만 성적이형성지수(SDI)의 값이 0보다 크게 나타나 하늘다람쥐는 암컷편향적 성적이형성을 보였다(Table 2-1).

국내 하늘다람쥐의 형태적 특성 중 체중과 머리-몸통의 길이를 북해도(Ohdachi *et al.* 2015)와 핀란드 지역(Selonen *et al.* 2016)에 서식하는 하늘다람쥐의 형태적 특성과 비교하였다. 그 결과 국내 하늘다람쥐의 형태적 특성은 다른 지역에 비해 작게 나타났다. 세 지역의 체중을 비교한 결과 핀란드(148.62g)가 가장 많이 나가는 것으로 확인되었다. 다음으로

북해도(123.02g), 한국(104.91g) 순서대로 나타났다(Fig. 2-3). 또한 머리-몸통의 길이 역시 핀란드(158.95mm)가 가장 긴 것으로 나타났으며, 다음으로 북해도(155.60mm)와 한국(152.08mm)으로 확인되었다(Fig. 2-4).

Table 2-1. Description of morphometric variables of Siberian flying squirrel between males and females

Variables	Total	Male (n=32)	Female (n=19)	F	<i>P</i>	<i>SDI</i>
Body mass (g)	104.91±13.44 ^a	102.59±11.13	107.24±16.85	5.98	0.29	2.22
Head-body length (mm)	152.08±6.75	151.00±5.69	153.16±8.39	1.69	0.28	0.71
Tail length (mm)	142.94±9.77	138.41±8.82	147.47±9.05	0.02	0.00	3.17
Hind foot length (mm)	32.31±1.29	31.92±1.32	32.69±1.15	0.24	0.04	1.19
Skull length (mm)	40.11±1.96	39.52±2.23	40.69±1.18	4.13	0.04	1.46
Ear length (mm)	20.02±1.34	19.93±1.54	20.10±1.25	0.52	0.68	0.41

^a mean±S.D.

Comparisons between male and female based on a t-test

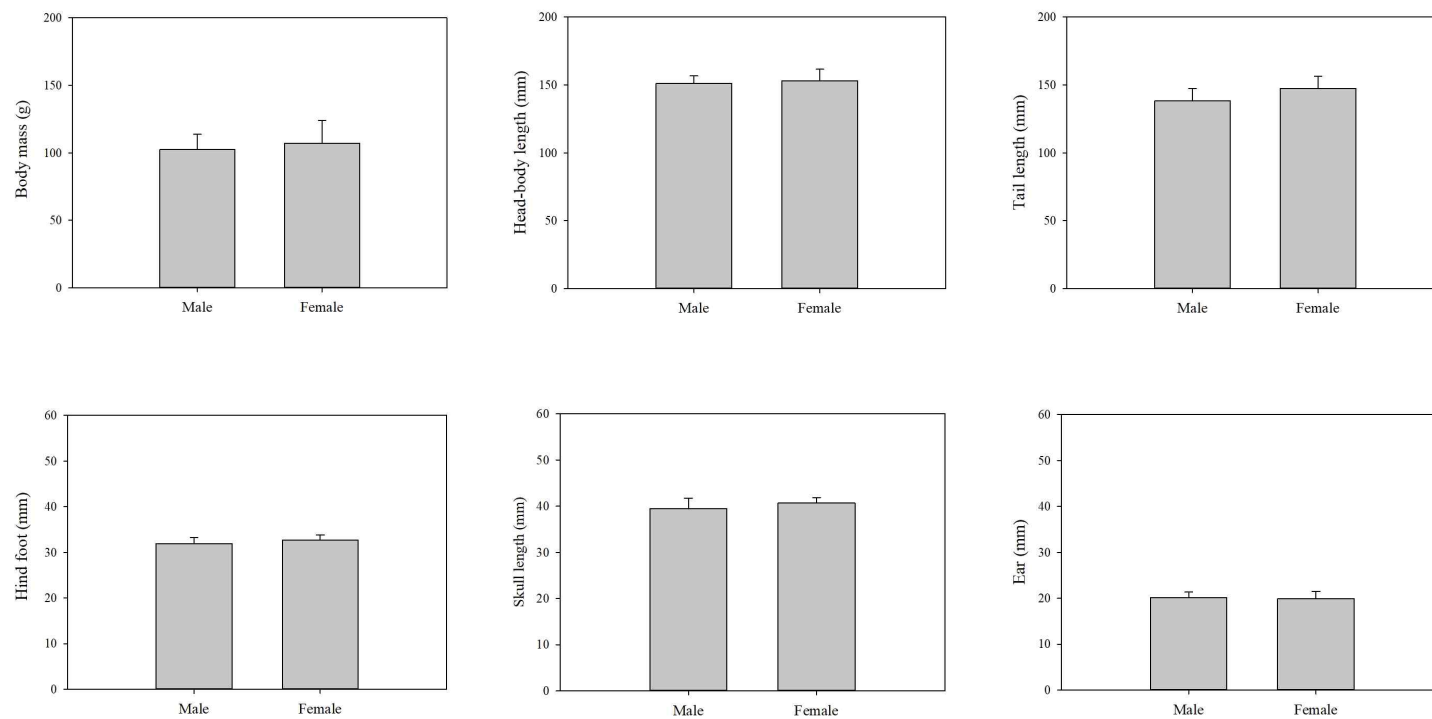


Fig. 2-2. Difference in morphometric variables of Siberian flying squirrel between males and females

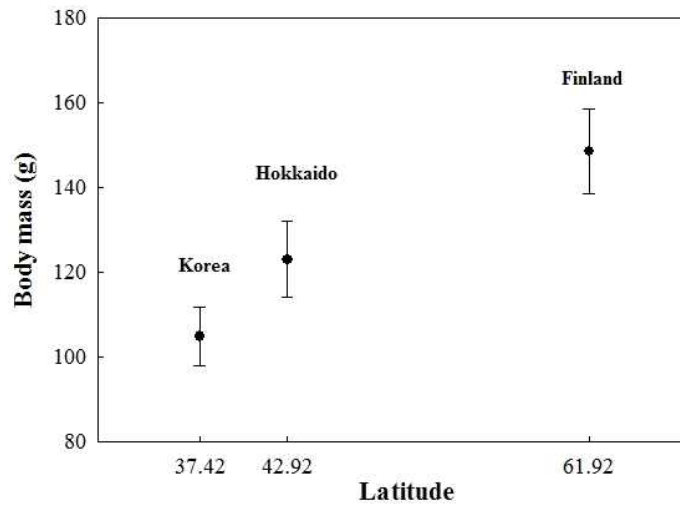


Fig. 2-3. Difference in mean body mass of Siberian flying squirrel between Korea, Hokkaido (Ohdachi *et al.* 2015) and Finland (Selonen *et al.* 2016)

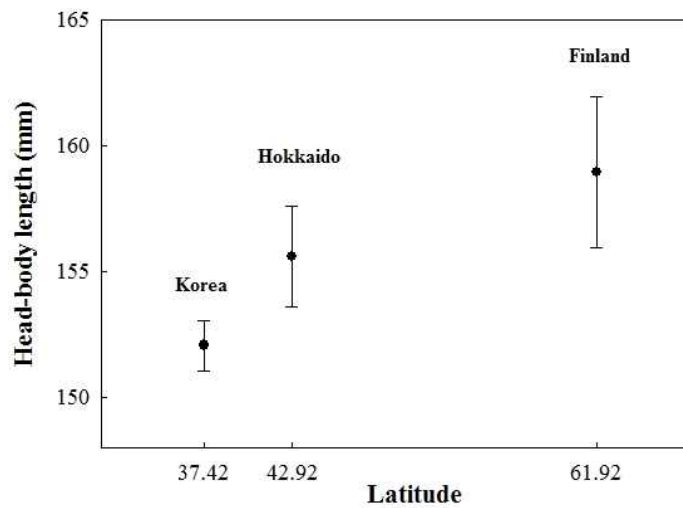


Fig. 2-4. Difference in mean head-body length of Siberian flying squirrel between Korea, Hokkaido (Ohdachi *et al.* 2015) and Finland (Selonen *et al.* 2016)

IV. 고찰

포유류는 일반적으로 수컷편향적 성적이형성을 나타낸다고 알려져 있다(Clutton-Brock 2007). 그러나 날다람쥐류는 대부분 암컷이 수컷보다 더 크다(Don 1983, Fokidis *et al.* 2007). 국내 서식하는 하늘다람쥐의 형태적 특성을 파악한 결과, 하늘다람쥐는 성별에 따라 꼬리길이와 뒷발길이, 두개골길이에서 유의한 차이가 나타났다. 그리고 성적이형성지수(SDI) 도출 결과 하늘다람쥐는 암컷편향적 성적이형성을 띄는 것으로 확인되었다(Hayssen 2008, Nandini 2011). 이와 같은 성적이형성은 번식 행동과 밀접하게 연관되어 나타나는 것으로 보고되었다(Adams 1975). 그 중 암컷편향적 성적이형성은 한배새끼수, 새끼의 크기, 번식횟수의 증가 등을 통하여 암컷이 번식성공률을 높이기 위해 진화한 것으로 알려져 있다(Cox *et al.* 2003).

번식기 하늘다람쥐 수컷은 가능한 많은 암컷과 짝짓기를 하며, 이를 위해 빠르게 이동한다(Hanski *et al.* 2000, Selonen *et al.* 2013). 이러한 행동은 경쟁관계에 있는 수컷끼리의 활동성을 촉진하는 것으로 알려져 있다(Szekely *et al.* 2000). 이 중 체중이 적은 수컷일수록 에너지 효율과 활동이 용이하여 번식경쟁력이 높은 것으로 보고되었다(Selonen *et al.* 2016). 반면에 암컷은 번식기에 체중이 증가하며, 체중 증가에 따른 체지방의 변화가 젖 분비에 영향을 미쳐 한배새끼수와 이소율 증가로 나타난다(Fokidis *et al.* 2007). 이와 같은 결과는 청설모와 하늘다람쥐를 대상으로 한 연구에서도 유사하게 확인되었다(Lucas *et al.* 2007, Selonen *et al.* 2013). 하늘다람쥐 또한 이와 같이 번식 성공률을 높이기 위하여 암컷편향적 성적이형성을 보이는 것으로 생각된다.

국내 하늘다람쥐의 외부형태를 측정한 결과 기존에 알려진 측정치보다 다소 작게 나타났다. 하늘다람쥐 형태적 특성에 대한 연구는 거의 없으며, 형태적 특성에 대한 정보도 핀란드와 북해도 등 몇몇 지역에 국한되어 알려져 있다. 이에 따라 핀란드와 북해도에서 보고된 하늘다람쥐의 외부형태 정보를 바탕으로 한국과 북해도, 핀란드 세 지역의 형태적 특성을 비교하였다(Ohdachi *et al.* 2015, Selonon *et al.* 2016). 그 결과, 하늘다람쥐의 체중과 머리-몸통의 길이 모두 핀란드 > 북해도 > 한국 순으로 확인되어 위도가 높을수록 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 호주에 서식하는 교목성 유대류인 *Petaurus breviceps*와 *Petaurus norfolcensis*를 대상으로 수행한 연구에서도 확인되었다(Quin *et al.* 1996). 또한 북미에 서식하는 *Glaucomys volans*의 형태적 특성도 위도에 따라 차이가 나타나는 것으로 보고되었다(Robins 2006).

야생동물의 형태적 특성은 기후와 서식환경 및 밀도 등 여러 가지 요인에 의해서 다양하게 나타난다(Festa-Bianchet *et al.* 1998, Carole *et al.* 2006). 동종 또는 근연종 내에서 고위도로 갈수록 몸의 크기가 커진다는 베르그만의 법칙(Bergmann's rule) 또한 널리 알려져 있다(Bergmann 1847). 하늘다람쥐는 유라시아 전역에 분포하며, 우리나라(위도 37.42)는 하늘다람쥐 분포의 남방한계선으로 알려져 있다(Winson *et al.* 2016). 그리고 북해도(위도 42.92)와 핀란드(위도 61.92)는 한국보다 높은 위도에 위치하고 있다. 이와 같은 결과를 바탕으로 하늘다람쥐의 형태적 특성은 베르그만의 법칙을 따르는 것으로 추정된다. 추후 체중과 머리-몸통의 길이 이외의 외부형태 측정치에 대한 비교도 필요한 것으로 생각된다.

제3장 등지선택 및 이용

I. 서론

둥지는 휴식을 취하거나 새끼를 키우고 포식자로부터 자신을 보호하는데 중요한 역할을 하는 공간이다(Holloway and Malcom 2007). 둥지는 분류군 및 종에 따라 다양한 장소에서 다양한 형태로 나타난다(Merrick *et al.* 2007). 이러한 둥지 선택은 번식 성공과 밀접한 관련이 있으며, 종의 성장 및 생존에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Holloway and Malcom 2007). 따라서 둥지선택 및 이용에 대한 연구는 해당 종의 둥지환경과 더불어 해당 종의 번식 시기와 한배새끼수 등의 번식생태, 개체수 및 개체군 동태 등을 확인할 수 있는 중요한 연구 분야이다(Shuttleworth and Schuchert 2014).

교목성 다람쥐류는 주로 수동(cavity)을 둥지로 이용하며, 새끼를 낳고 육추를 하며, 천적을 피하고 잠자리로 이용하는 것으로 보고되었다(Steele and Korprowski 2001). 주로 수관부로 이동하는 교목성 다람쥐의 특성에 따라 둥지의 위치 및 주변 환경은 이들의 서식에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Meyer *et al.* 2007). 이에 따라 교목성 다람쥐류 및 날다람쥐류의 둥지선택은 고도와 식생, 둥지의 입구직경, 둥지의 높이, 먹이자원과 물 등의 주변 환경과 입구직경에 따른 포식자로부터의 회피가 용이한 지리적 요건 등 다양한 요인을 고려하여 이루어지는 것으로 보고되었다(Smith and Nichols 2003, Le Roux *et al.* 2016).

하늘다람쥐 역시 교목성 다람쥐로, 딱따구리가 만든 수동을 둥지로 이용하는 것으로 알려져 있다(Hokkanen *et al.* 1982, Hanski 1998). 나뭇가지 끝에 목본성 덩굴을 엮어 둥지를 만드는 것이 관찰되었으나, 대부분 수동을 둥지로 이용한다(Nakama and Yanagawa 2009). 최근 들어 전

세계적으로 산림 벌채 및 개발로 인해 서식지가 줄어들고 있으며, 하늘다람쥐가 둥지로 이용하는 수동 또한 감소하고 있는 것으로 확인되었다.(Hurme *et al.* 2007, Lamplia *et al.* 2009). 이와 같은 수동 부족은 하늘다람쥐의 번식에도 영향을 미치고 있으며, 이에 따라 개체수에도 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Koskimäki *et al.* 2014).

하늘다람쥐는 북해도에서는 사할린전나무(*Abies sachalinensis*)와 신갈나무(*Quercus mongolica*)가 우점하는 산림에 서식하고, 핀란드에서는 독일가문비나무(*Picea abies*)와 구주소나무(*Pinus sylvestris*)가 우점하는 산림에 서식하는 것으로 보고되었다(Hanski 1998, Kadoya *et al.* 2010). 수고가 높은 나무를 둥지로 선택하며, 서식지 내 두 개 이상의 둥지를 이용하는 것으로 보고되었다(Selonen *et al.* 2001, Kurttila *et al.* 2002, Reunanen *et al.* 2002). 이와 같이 분포 지역에 식생이 다르며, 국내 서식환경에 따라 하늘다람쥐의 둥지이용 양상이 다르게 나타날 것으로 생각된다(Menzel *et al.* 2006).

국내에서 하늘다람쥐의 둥지 환경에 대한 연구가 몇몇 보고되었으나, 침엽수 조림지에서 단기간에 걸쳐 수행되었다거나, 적은 개수의 인공둥지를 설치하여 이루어졌다(조 등 2013, 임 등 2017). 그러나 기존의 연구 결과들은 둥지환경을 대표하기 어려우며, 인공둥지 이용률만 도출하여 아직까지 하늘다람쥐의 둥지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 따라 하늘다람쥐의 둥지선택에 영향을 미치는 환경요인과 주변 환경에 대한 정량적인 조사가 필요한 것으로 생각된다.

본 연구의 목적은 하늘다람쥐의 둥지 선택 및 이용 특성을 구명하기 위하여 실시하였다. 이를 위해 인공둥지를 설치하여 하늘다람쥐의 둥지 이용을 모니터링 하고, 둥지 선택에 영향을 미치는 환경 요인을 정량화 하고 둥지이용 특성을 조사하였다.

II. 연구방법

1. 인공둥지 설치 및 모니터링

하늘다람쥐의 인공둥지 이용을 모니터링하기 위하여 원주시 백운산 지역에 인공둥지를 설치하였다. 총 100개의 인공둥지를 40m 간격으로 침엽수와 활엽수에 각각 50개씩 설치하였다. 그리고 입구직경을 3종류로 설치하여 선호도를 파악하였다(3cm: 33개, 3.5cm: 33개, 4cm: 34개). 인공둥지 설치 시 등산객 등 인간의 간섭을 줄이기 위하여 사다리를 이용하여 지면으로부터 2.5m 이상의 높이에 설치하였다. 그리고 둥지마다 번호를 기입하여 위치를 쉽게 확인 할 수 있도록 하였다. 설치한 인공둥지의 안쪽 바닥 크기는 $12.5 \times 10.5\text{cm}$ 이며, 입구로부터 바닥까지의 깊이는 15cm였다.

인공둥지 모니터링은 2014년 4월부터 2016년 3월까지 매달 1회씩 전수조사를 통해 실시하였다. 인공둥지 내에서 하늘다람쥐의 배설물과 둥지, 개체 확인 등을 통하여 인공둥지 이용 여부를 확인하였다. 입구직경에 따른 둥지 이용에 대해 기록하였으며 번식둥지와 공동으로 이용하는 communal nesting을 확인하였다. 그리고 모니터링 시 발견되는 하늘다람쥐 개체수와 성별을 파악하고 야장에 기록하여 정리하였다. 또한 하늘다람쥐 둥지재료 파악을 위해 인공둥지 모니터링 중 하늘다람쥐가 이용하지 않는 둥지로 판단될 경우 둥지를 수거하였다. 이후 각 둥지의 둥지재료를 동정하여 종류를 파악하고 무게를 측정하여 기록하였다.

2. 환경요인 선정 및 조사

하늘다람쥐의 둥지선택 파악 및 이용 예측 모델 도출을 위해 인공둥지를 설치한 100개의 지점에서 환경요인을 선정하여 산림환경 조사를 실시하였다. 산림환경조사는 식생 중 조성 및 층위별 피도, 산림환경구조, 인공둥지 환경으로 구분하였으며, 산림의 식생 피도량이 최대가 되는 시기를 고려하여 7월말부터 8월초까지 조사를 실시하였다(Table 3-1). 인공둥지를 설치한 곳을 중심으로 반경 5m의 가상의 원통을 조사구로 설정한 후, 교목층(>8m)과 아교목층(2~8m), 관목층(1~2m), 초본층(<1m)으로 엽층을 구분하여 각 엽층별 식물 종 및 풍부도를 조사하였다(이 2011). 각 지점 조사구의 고사목(snag) 수를 확인하였으며 생육하고 있는 교목에 대해서 종별 개체수와 흉고직경, 수고, 수관비율, 수관면적을 조사하였다. 또한 관목의 종별 개체수와 수고, 수관면적을 확인하였다. 인공둥지를 부착한 나무에 대하여 수종(침엽수, 활엽수)과 수고, 흉고직경, 둥지와 근접한 교목과의 거리, 둥지높이를 파악하여 기록하였다(Table 3-1). 층위별 피도량 및 암석 피도량에 있어서 피도가 0%인 경우에는 0, 1~20%인 경우 1, 21~40%인 경우 2, 41~60%인 경우 3, 61~80%인 경우 4, 81~100%인 경우 5로 정하여 피도를 일정한 간격 척도로 수치화하였다(Kent 2012).

Table 3-1. Description of the environmental variables within 5 m radius circle in this study

Variables	Description
Tree stems	Number of tree stems (DBH>6cm)
Tree DBH (cm)	Diameter at breast height of tree stems
Tree height (m)	Height of tree stems
Tree crown ratio (%)	Proportion of crown length to tree height
Tree crown area (m ²)	Crown area of tree
Shrub stems	Number of shrub stems
Shrub height (m)	Height of shrub stems
Shrub crown area (m ²)	Crown area of shrub
Snags	Number of dead trees
Nest tree type	Type of nest tree (coniferous, deciduous)
Nest tree height (m)	Height of nest tree
Nest tree DBH (cm)	Diameter at breast height of nest trees
Nest tree DNT (m)	Distance to nearest tree from nest tree
Nest height (m)	Height of artificial nest box
Herbaceous plant layers	Coverage under 1m on scale 0-5
Shrub layers	Coverage during 1-2m on scale 0-5
Subtree layers	Coverage during 2-8m on scale 0-5
Tree layers	Coverage over 8m on scale 0-5
Rock coverage	Coverage for rock on scale 0-5

3. 자료 분석

하늘다람쥐의 인공둥지 입구직경 선호도(PI: preference index)는 Jacobs' index of preference (Jacobs 1974)를 이용하여 분석하였다. 선호도는 값에 따라 매우 선호($1.00 \geq PI > 0.60$)와 선호($0.60 \geq PI > 0.20$), 보통($0.20 \geq PI > -0.20$), 회피($-0.20 \geq PI > -0.60$), 매우 회피($-0.60 \geq PI > -1.00$)의 5개 선호 정도로 분류하였다(Jacobs 1974, Choi *et al.* 2007). 하늘다람쥐와 환경요인 사이의 관계를 파악하고 둥지이용 특성을 파악하기 위해 총 17개의 환경요인에 대해 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 실시하였다. 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 이분형 척도로 측정되고, 종속변수의 정규분포 가정이 불분명할 때 사용할 수 있는 분석방법이다(Press and Sandra 1978, Manly *et al.* 1993).

본 연구에서 하늘다람쥐의 인공둥지 이용여부가 이분형 척도의 종속변수로 사용되었으며, 환경요인 변수 대부분이 정규분포를 이루지 않았기 때문에 분석방법으로서 로지스틱 회귀분석을 선택하였다. 로지스틱 회귀분석을 통해 유의성 검정을 거쳐 선정된 환경요인을 로지스틱 회귀모형을 이용하여 분석에 사용하였다. 환경변수의 유의성 검증은 단계적으로 불필요한 변수를 제거하고, 이를 반복하여 모형에 포함될 독립변수의 상관성에 관한 예측력을 갖는 후진선택방법(backward stepwise)을 이용하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 인공둥지 이용

2014년 4월부터 2016년 3월까지 매달 1회씩 하늘다람쥐의 인공둥지 이용 모니터링 결과 총 47개의 인공둥지를 이용한 것으로 확인되었다. 이중 침엽수에 설치된 새집은 12개, 활엽수에 설치된 새집은 35개를 이용한 것으로 나타났다. 하늘다람쥐의 인공둥지 이용률은 평균 19.5%로 나타났으며 12월에 이용률이 26.5%로 가장 높게 확인되었다. 반면에 6월에는 인공둥지 이용률이 12.5%로 가장 낮게 나타났다. 총 27개의 인공둥지에서 성체와 아성체, 새끼를 포함한 71마리의 하늘다람쥐를 확인하였다. 하늘다람쥐는 10월에 가장 많이 발견되었으며, 12월과 1월에 가장 적게 발견되었다(Fig. 3-1).

인공둥지 모니터링 시 4월과 5월, 7월, 8월에 하늘다람쥐 번식둥지를 확인하였다. 총 6개의 번식둥지를 확인하였으며 한배새끼수(litter size)는 2.17 ± 0.31 마리로 나타났다(Table 3-2). 관찰된 번식둥지에서 총 13마리의 새끼가 확인되었으며, 수컷과 암컷의 성비는 8:5로 나타났다. 그리고 하늘다람쥐가 관찰된 인공둥지 중 2마리 이상이 함께 이용하는 communal nesting을 총 8개 발견하였다(Table 3-3). Communal nesting은 2월과 5월, 9월, 10월, 11월, 12월에 발견되었으며 둥지 당 하늘다람쥐 2.25 ± 0.16 마리를 확인하였다.

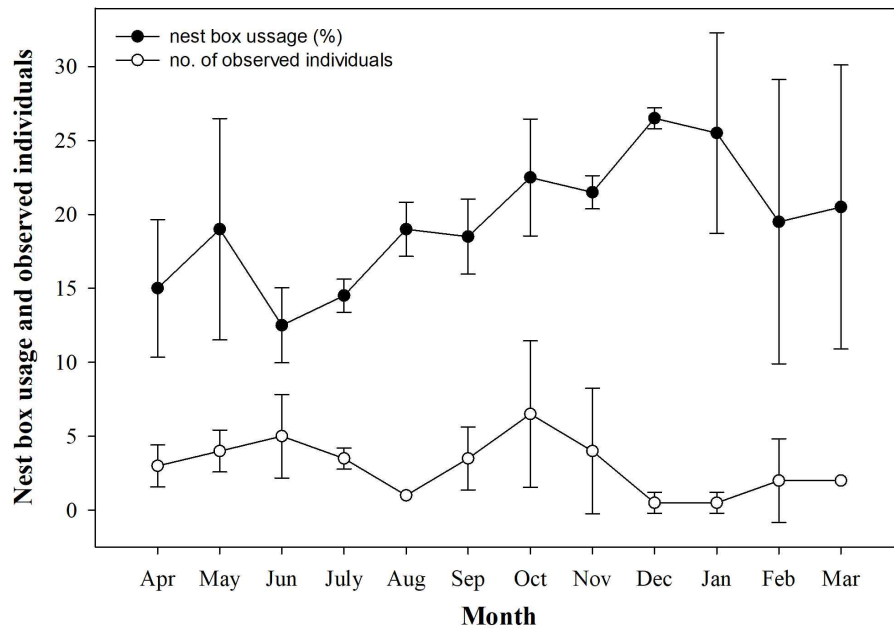


Fig. 3-1. Monthly mean % occupancy of nest boxes used by Siberian flying squirrel and number of observed individuals from Apr. 2014 to Mar. 2016 at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

Table 3-2. Description of breeding nest and litter size of Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

Date	Litter size	Sex ratio (male:female)
Jul. 23, 2014	3	2:1
Aug. 25, 2014	3	2:1
May 18, 2015	2	1:1
May 24, 2015	2	1:1
Apr. 20, 2016	1	1:0
May 21, 2016	2	1:1

Table 3-3. Description of communal nesting of Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

Date	Number of squirrels	Sex ratio (male:female)
Sep. 25, 2014	2	2:0
Oct. 22, 2014	2	1:1
Oct. 23, 2014	2	1:1
Nov. 11, 2014	3	2:1
Feb. 26, 2015	2	1:1
May 25, 2015	2	2:0
Dec. 22, 2015	3	2:1
Feb. 19, 2016	2	1:1

2. 선호입구 직경 및 등지재료

2014년 4월부터 2016년 3월까지 하늘다람쥐가 이용한 인공둥지를 입구직경별로 확인한 결과 3cm는 3개, 3.5cm는 11개, 4cm는 33개를 이용하였다(Fig. 3-2). 이중 입구직경 3cm 2개, 3.5cm 4개는 하늘다람쥐가 입구를 갉아 $3.85 \pm 0.02\text{cm}$ 으로 확장시켰기 때문에 입구직경 선호도(PI: preference index) 분석에서 제외하였다. 하늘다람쥐의 인공둥지 입구직경에 대한 선호도를 분석한 결과 입구직경 4cm를 선호(PI=0.41)하는 것으로 나타났다. 반면에 하늘다람쥐는 3.5cm의 입구직경은 회피(PI=-0.33)하였고 3cm는 매우 회피(PI=-0.87)하는 것으로 나타났다(Fig. 3-3).

하늘다람쥐가 이용하지 않는 등지 총 32개를 수거하여 등지재료를 동정하고 분석한 결과 13여 종의 등지재료를 확인하였다. 하늘다람쥐 등지는 목본성덩굴과 참나무류(*Quercus* spp.), 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 물개암나무(*Corylus mandshurica*), 물푸레나무(*Kalopanax septemlobus*), 고로쇠나무(*Acer pictum*), 서어나무(*Carpinus laxiflora*), 산뽕나무(*Morus alba*), 음나무(*Stephanandra incisa*), 국수나무(*Fraxinus rhynchophylla*) 등 활엽수의 잎과 가지, 수피로 구성되어 있었다. 그리고 소나무(*Pinus densiflora*)와 잣나무(*Pinus koraiensis*), 낙우송(*Taxodium distichum*), 낙엽송(*Larix kaempferi*) 등의 침엽수도 등지재료에 소량 포함되어 있었다(Table 3-4). 32개의 등지 중 28개(87.5%) 등지의 등지재료는 목본성덩굴이 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 그중 20개의 등지는 등지재료가 목본성덩굴로만 구성되어 있었으며, 낙엽으로만 구성된 등지도 4개를 확인하였다.

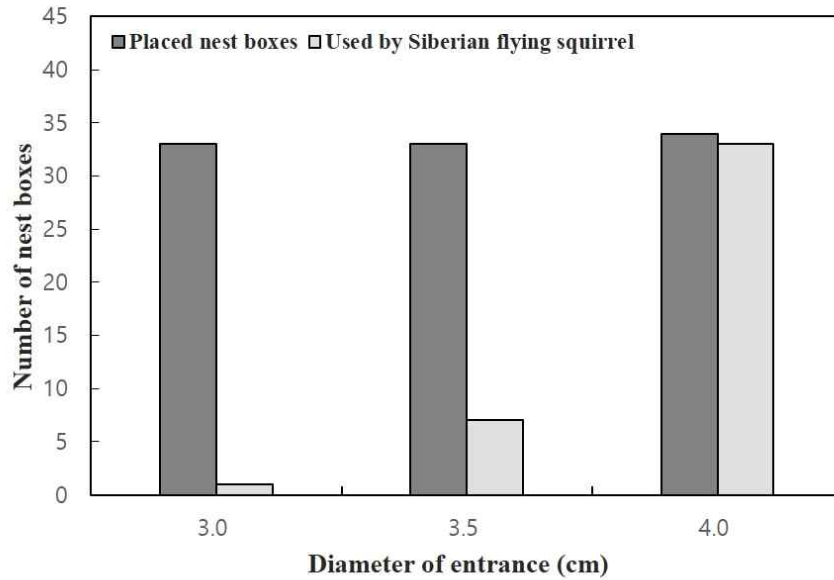


Fig. 3-2. Number of nest boxes used by different entrance size by Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

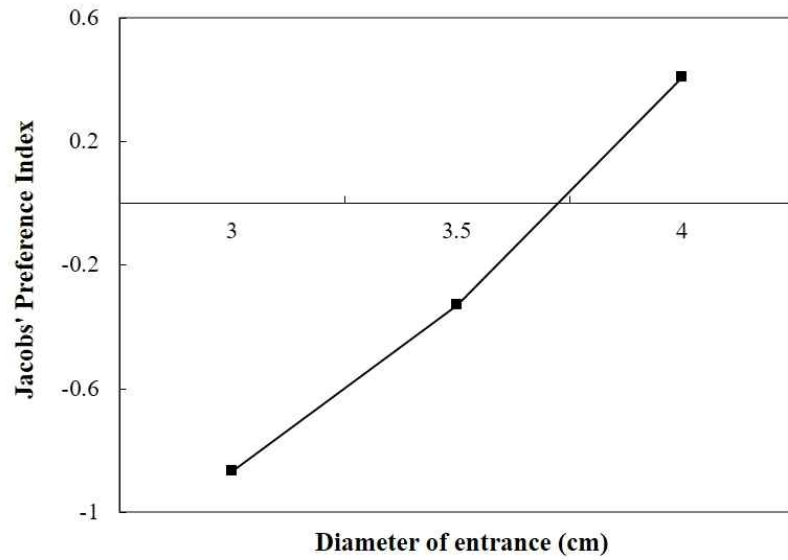


Fig. 3-3. Result of Jacobs' Preference Indices for entrance sizes of nest boxes used by Siberian flying squirrel

Table 3-4. Nest materials used by Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	N ^a	(%) ^b	Mean weights (g)	(%) ^c
Woody vines	28	87.50	90.63	43.64
Deciduous trees	13	40.63	70.55	33.97
<i>Quercus spp.</i>	13	40.63	17.85	8.60
<i>Lindera obtusiloba</i>	7	21.88	9.40	4.53
<i>Corylus mandshurica</i>	7	21.88	2.94	1.42
<i>Kalopanax septemlobus</i>	4	12.50	1.24	0.60
<i>Acer pictum</i>	15	46.88	36.42	17.54
<i>Carpinus laxiflora</i>	1	3.13	0.31	0.15
<i>Morus alba</i>	3	9.38	1.16	0.56
<i>Stephanandra incisa</i>	3	9.38	0.63	0.30
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	4	12.50	0.60	0.29
Coniferous trees	12	37.50	1.01	0.49
<i>Pinus densiflora</i>	9	28.13	0.24	0.12
<i>Pinus koraiensis</i>	7	21.88	0.14	0.07
<i>Taxodium distichum</i>	3	9.38	0.36	0.17
<i>Larix kaempferi</i>	4	12.50	0.27	0.13
Unidentified	32	100	45.48	21.90
Total	32	100	207.67	100

N^a: number of nest used as nest materials of each plant species

(%)^b : Proportion within nest materials

(%)^c : Proportion within mean weight of nest materials

3. 둥지이용 특성

하늘다람쥐의 둥지이용 특성을 파악하기 위한 로지스틱 회귀분석에 앞서 인공둥지 이용여부에 따라 총 17개의 환경요인에 대하여 조사를 실시하고, 인공둥지 환경요인과의 관계를 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 통해 분석하였다(Table 3-5).

그 결과 하늘다람쥐의 둥지이용은 5개의 환경요인과 상관관계를 가지는 것으로 나타났다(Table 3-6). 5개의 요인 중 둥지와 근접한 교목과의 거리는 하늘다람쥐의 둥지선택에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며($\text{Exp}(\beta)=3.67$, $p=0.03$) 교목수고($\text{Exp}(\beta)=2.06$, $p=0.01$), 교목수관면적($\text{Exp}(\beta)=1.29$, $p=0.01$), 관목수관면적($\text{Exp}(\beta)=0.73$, $p=0.04$), 둥지 부착수종($\text{Exp}(\beta)=0.06$, $p=0.01$) 순서로 영향을 받는 것으로 확인되었다.

둥지와 근접한 교목과의 거리가 1m 증가할 때 하늘다람쥐의 둥지이용을 예측할 확률이 약 3.7배, 교목수고가 1m 증가할 때 약 2배, 교목수관면적이 1m² 증가할 때 약 1.3배, 관목수관면적이 1m² 증가할 때 약 0.7배 증가하였다. 하늘다람쥐의 둥지이용 가능성을 설명하는 R^2 은 0.62로 나타났다. 그리고 모델의 적합도를 판단하는 Hosmer-Lemeshow test 값은 0.67로 확인되어 적합한 모형으로 확인되었다.

Table 3-5. Observed values description for environmental variables according to use of Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

Variables	Used	Unused
Tree stems	7.18±0.68 ^a	6.73±0.38
Tree DBH ^b (cm)	18.76±0.89	19.27±0.64
Tree height (m)	14.97±0.63	12.21±0.38
Tree crown ratio (%)	41.26±1.87	4.38±1.18
Tree crown area (m ²)	232.60±19.16	220.78±13.43
Shrub stems	6.52±0.73	6.89±0.47
Shrub height (m)	1.43±0.03	1.37±0.03
Shrub crown area (m ²)	8.09±1.08	8.52±0.66
Snags	1.37±0.32	1.33±0.14
Nest tree height (m)	24.11±0.93	17.21±0.64
Nest tree DNT ^c (m)	2.13±0.23	2.04±0.12
Nest height (m)	2.67±0.27	2.58±0.22
Understory coverage	2.44±0.35	2.14±0.12
Midstory coverage	2.44±0.26	2.08±0.11
Suboverstory coverage	3.74±0.14	3.11±0.26
Overstory coverage	4.30±0.14	4.32±0.12
Rock coverage	1.15±0.23	1.58±0.18

^a mean±SE

^b diameter at breast height

^c distance to nearest tree

Table 3-6. Results of logistic regression of environmental variables effects on nest use of the Siberian flying squirrel at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

Model variables	β	SE	P	Exp(β)	R^2	Hosmer-Lemeshow test
Nest tree type	-2.90	1.08	0.01	0.06		
Shrub crown basal area	-0.31	0.15	0.04	0.73		
Tree height	0.72	0.26	0.01	2.06	0.62	0.67
Tree crown basal area	0.13	0.01	0.04	1.29		
Distance to nearest tree	1.30	0.60	0.03	3.67		

IV. 고찰

하늘다람쥐의 인공둥지 이용을 모니터링한 결과, 평균 19.5%의 이용률을 보였다. 겨울에 이용률이 가장 높았고 봄에 가장 낮게 확인되었다. 이는 번식기에 하늘다람쥐가 간섭이나 위험요소를 피해 둥지를 자주 옮겨서 발견빈도 및 인공둥지 이용률이 낮게 나타난 것으로 생각된다(Vernes 2004). 인공둥지 내 하늘다람쥐는 가을에 가장 많이 발견되었다. 하늘다람쥐는 육추 후 가을에 이소를 하며 새끼는 일정기간 동안 주변 환경을 탐색하고 관찰하는 것으로 알려져 있다(Selonen and Hanski 2006). 따라서 가을철 하늘다람쥐 발견이 많았던 것은 이소한 새끼의 인공둥지 이용이 높았던 것으로 생각된다. 반면에 인공둥지 내 하늘다람쥐 관찰은 겨울철에 가장 적게 확인되었다. 이와 같은 결과는 겨울철 인공둥지의 단열이 잘 되지 않아 하늘다람쥐의 관찰 빈도가 낮게 나타나는 것으로 생각된다(Suzuki *et al.* 2013).

하늘다람쥐는 3월부터 8월의 번식기에 1~4마리의 새끼를 낳는 것으로 알려져 있다(Airapetyants and Fokin 2003). 본 연구에서도 6개의 번식둥지에서 13마리의 새끼를 확인한 결과, 한배새끼수가 2.17 ± 0.31 마리로 나타났다. 포유류의 한배새끼수는 서식지의 질과 부모의 새끼 돌보기 사이의 균형에 의해 결정된다(Badyaev and Ghalambor 2001). 그러나 본 연구 결과를 통해서도 이와 같은 번식전략에 대해 명확하게 파악하기 어렵다. 추후 서식지의 질과 한배새끼수의 관계 및 하늘다람쥐의 번식 전략에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다. 또한 2마리 이상이 함께 이용하는 communal nesting은 총 8개를 발견하였다. 하늘다람쥐 2마리 또는 3마리가 함께 이용하는 것으로 확인되었으며, 대부분 가을과 겨울에

발견되었다. 이는 이소한 새끼가 함께 있거나 기온이 낮아지는 가을과 겨울에 에너지 손실을 줄이기 위하여 인공둥지를 함께 이용하는 것으로 생각된다(Selonen *et al.* 2014, Asari and Yanagawa 2016).

수동을 둥지나 은신처로 이용하는 야생동물은 종에 따라 서식하는 환경과 생태에 따라 선호하는 입구의 직경이 각각 다르다고 알려져 있다(Le Roux *et al.* 2016). 또한 둥지입구의 크기가 너무 작으면 이용이 용이하지 않고, 너무 크면 포식압을 증가시킨다(Wiebe and Swift 2001). 본 연구결과, 입구직경에 따라 하늘다람쥐는 4.0cm의 입구직경에서 선호도가 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 이용이 용이하고 포식압을 줄이기 위해 하늘다람쥐가 몸 크기에 맞는 입구직경을 선호하는 것으로 추정된다(Kadoya *et al.* 2010).

둥지재료 분석결과 13종의 둥지재료를 확인하였다. 이 중 목본성덩굴의 비율이 가장 높은 것으로 확인되어 목본성덩굴은 하늘다람쥐의 중요한 둥지재료로 판단된다. 하늘다람쥐는 인공둥지 안에 목본성덩굴을 이용하여 구형의 둥지를 만드는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 천적으로부터 자신을 보호하고 야행성인 하늘다람쥐의 생태적 특성에 따라 낮에 햇빛을 차단하기 위한 것으로 생각된다(Suzuki *et al.* 2013).

둥지주변의 환경요인은 교목성 다람쥐의 둥지선택 및 이용에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Merrick *et al.* 2007, Trudeau *et al.* 2011). 하늘다람쥐의 둥지이용 예측 및 선택에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 하늘다람쥐는 근접한 교목과의 거리가 멀고 주변 나무의 수고가 높으며, 교목수관면적이 넓고 관목수관면적은 좁은 활엽수에 설치된 인공둥지를 둥지로 선택하고 이용할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 환경요인 중 둥지와 근접한 교

목과의 거리, 주변 교목의 수고, 교목수관면적에 대한 하늘다람쥐의 등지 선택 예측은 높게 나타났다($\text{Exp}(\beta)1.29 \sim 3.67$). 인공등지 부착수종과 관목수관면적에 대한 예측은 비교적 낮게 확인되었다($\text{Exp}(\beta)0.06 \sim 0.73$).

숲의 구조는 날다람쥐의 활공에 영향을 미친다(Bendel and Gates 1987). 날다람쥐류는 높은 위치에서 도약할수록 에너지 소비에 따른 활공 거리가 길어져 효율적인 활공이 가능한 것으로 알려져 있다(Scheibe *et al.* 2006). 이를 위해 하늘다람쥐는 등지나무 또는 주변나무로 이동하여 가능한 높게 이동하여 활공한다(Airapetyants and Fokin 2003). 이와 같이 하늘다람쥐가 수고가 높은 나무를 선호하는 것은 북해도에서 수행된 연구 결과에서도 유사하게 나타났다(Suzuki *et al.* 2012). 또한 하늘다람쥐는 맹금류 등 포식자로부터 자신을 보호하기 용이한 울폐한 산림을 선호하는 것으로 알려져 있다(Airapetyants and Fokin 2003). 따라서 등지와 근접한 교목과의 거리, 주변 교목의 수고, 교목수관면적은 하늘다람쥐의 등지선택에 중요한 요인으로 판단된다.

하늘다람쥐는 활엽수를 등지로 이용할 가능성이 높은 것으로 예측되었다. 이는 침엽수를 등지로 선호한다는 핀란드와 북해도에서의 결과와 상이하게 나타났다(Nakama and Yanagawa 2009, Koskimäki *et al.* 2014). 북해도와 핀란드는 우리나라보다 평균 기온이 낮고 침엽수림의 비율이 높은 것으로 보고되었다(Snyder *et al.* 2004). 반면에 우리나라는 두 지역보다 상대적으로 활엽수림의 비율이 높다. 또한 핀란드 지역의 활엽수림에 서식하는 하늘다람쥐는 사시나무 등을 등지로 선호하는 것으로 알려져 있다(Hanski 1998). 따라서 이와 같은 결과는 인공등지를 부착한 수종보다는 지역에 따른 환경의 차이로 인한 것으로 생각된다.

제4장 행동권 및 서식지 이용

I. 서론

행동권(home range)이란 어떤 개체가 활동하거나 번식과 채식, 휴식 등을 취하는 모든 지역을 의미한다(Burt 1943). 각 개체는 안정적인 먹이 공급이나 번식성공을 위하여 고유의 행동권을 유지하며 살아간다(Markford *et al.* 2014). 이러한 행동권은 동일한 종 내에서도 서식 환경의 구성요소에 따라 다양하게 나타나는 것으로 보고되었다(Mäkeläinen *et al.* 2016). 또한 계절이나 번식기 및 비번식기 등 시간에 따라 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다(Silvius 2002, Romeo *et al.* 2010). 그리고 행동권은 다른 종 혹은 다른 개체와 중첩되기도 한다(Steinmann *et al.* 2009). 따라서 행동권에 대한 연구는 해당 종의 이동특성 및 공간 이용 등의 생태적 특성을 이해하기 위해 중요하다(Vieira *et al.* 2005, Hough and Dieter 2009).

날다람쥐류는 활공(gliding)을 통해 주로 이동하며, 비슷한 크기의 포유류에 비해 행동권이 크다고 알려져 있다(Jackson 2012). 날다람쥐류의 행동권과 이동특성을 파악하는 방법은 무선위치추적(radio tracking)이 가장 널리 이용되고 있다(Wilson *et al.* 2008). 무선위치추적은 대상 개체에 신호가 발생하는 발신기를 부착하여 전파 강도에 따라 위치를 파악하는 방법이다(Jacques *et al.* 2017). 최근 들어 조류와 포유류를 대상으로 정확도가 높은 GPS 추적장치(GPS-logger)를 사용하는 방법도 많이 이용되고 있다(Loretto *et al.* 2016). 그러나 날다람쥐류에 부착하기에 적합한 무게의 GPS 추적장치가 개발되지 않아 아직까지 무선위치추적 방법이 가장 많이 이용되고 있다(Mäkeläinen *et al.* 2016).

하늘다람쥐는 유라시아 북부 전역에 걸쳐 넓은 분포권을 가지고 있으나 행동권과 세력권 등 이동특성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 핀란드에서 수행된 하늘다람쥐의 행동권 및 이동특성에 관한 연구를 제외한 다른 지역에서 수행된 연구결과는 거의 알려지지 않았다(Selonen and Hanski 2003, Selonen *et al.* 2006). 행동권 크기는 동일 종 내에서도 분포지역의 서식환경에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다(Selonen *et al.* 2001). 따라서 정확한 행동권 파악을 위해서는 서식하는 지역에 따른 연구가 필요하다(Knowlton and Graham 2010).

그러나 국내 하늘다람쥐의 행동권은 법정보호종임에도 불구하고 거의 알려지지 않았다. 하늘다람쥐는 자연림과 성숙림에 주로 서식하며, 산림의 개발로 인한 서식지 파괴 및 단편화에 따른 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Hanski *et al.* 2000). 이에 따라 하늘다람쥐는 국내 임도와 골프장 건설 등의 개발로 인한 서식지 변화에 직접적인 위협을 받을 것으로 생각된다(조 등 2013). 따라서 이와 같은 개발에 앞서 하늘다람쥐의 보호를 위해서는 국내 서식하는 하늘다람쥐의 정확한 행동권 크기가 우선적으로 파악되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 국내 서식하는 하늘다람쥐의 활동 반경 및 서식 환경의 이용에 대하여 파악하기 위해 실시하였다. 이를 위해 널리 이용되고 있는 무선위치추적법을 이용하여 시기와 성별에 따른 행동권 크기와 개체 간 행동권 중첩, 일일행동 및 이동거리, 서식지 이용에 대하여 조사하였다.

II. 연구방법

1. 포획 및 발신기부착

하늘다람쥐의 이동특성을 파악하기 위해 강원도 원주 백운산에서 인공둥지를 이용하여 하늘다람쥐를 포획하였다. 포획된 하늘다람쥐는 포획 위치와 성별, 성숙도, 체중 등을 기록하고 식별을 위한 귀 표지(ear-tag)를 실시한 후 전파발신기를 부착하여 방사하였다. 무선위치추적을 위한 전파발신기 부착은 하늘다람쥐 성체만을 대상으로 실시하였다.

전파발신기는 플라스틱 끈으로 연결된 발신기(M1530, M1540, ATS Inc.)를 부착하였다. 일반적으로 야생동물에게 장착되는 발신기의 무게는 행동에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 개체 무게의 5%미만을 권장하고 있다(Gannon and Sikes 2007, Cameron and Spencer 2008). 따라서 하늘다람쥐 무게의 5% 미만인 3.7~4.2g의 발신기를 부착하였다. 하늘다람쥐에게 부착한 발신기 신호의 세기는 30ppm(pulse per minute)이고 추적 가능한 지속날짜는 90~180일 정도였다.

2. 무선위치추적 및 위치좌표 도출

하늘다람쥐의 행동권을 파악하기 위해 2015년 2월부터 2016년 6월까지 백운산에서 무선위치추적을 실시하였다(Hanski *et al.* 2000). 무선위치추적은 수신기(receiver)와 야기안테나(yagi antenna)를 이용하여 실시간으로 개체의 위치를 확인하였다(Harris *et al.* 1990). 추적하는 개체의 정확한 위치파악은 서로 다른 두 개 이상의 지점에서 방위각을 측정하여 위치를 파악하는 삼각측량법으로 실시하였다(Harris *et al.* 1990, Blondel *et al.* 2009).

무선위치추적은 매달 1회씩 3일 연속으로 실시하였으며, 1시간 간격으로 대상 개체의 위치를 확인하였다. 추적 개체의 움직임으로 인한 오차를 최소화하기 위하여 추적 시 10분 이내로 각각의 방위각을 기록하였다. 하늘다람쥐 개체의 위치는 무선추적을 통해 측정된 방위각으로부터 LOCATEIII 프로그램의 LMLE (length maximum likelihood estimators)를 이용하여 95% 오차타원(95% error ellipses) 범위 내에서 좌표로 도출하였다(Ferreira *et al.* 2011, 김 2015).

3. 행동권 및 자료 분석

전파발신기를 부착한 하늘다람쥐 중 무선위치추적을 통해 도출된 좌표의 수가 30개 미만일 때에는 분석에서 제외하는 것을 원칙으로 하였다(Hillen *et al.* 2009, 이 2011). 그러나 지속적으로 이동을 하는 일부 개체에 한하여 분석에 포함시켰다. 행동권은 무선위치추적을 실시한 전체 기간과 시기에 따라 번식기와 비번식기로 나누어 분석하였다. 하늘다람쥐가 새끼를 놓고 육추를 하는 3월부터 8월을 번식기로 구분하고 9월부터 2월을 비번식기로 구분하였다(Airapetyants and Fokin 2003). 하늘다람쥐의 공간이용 특성을 파악하기 위해 개체 간 행동권 중첩에 대하여 분석하였다. 또한 이동 선호 시간 및 이동거리의 차이를 알아보기 위하여 시기별, 시간별 이동거리를 파악하였다.

하늘다람쥐의 행동권 크기는 최소다각형법(MCP: minimum convex polygon)과 핵심밀도추정법(KDE: kernel density estimator)의 두 가지 방법으로 도출하였다(Hanski *et al.* 2000, Sharpe and Goldingay 2007, Jacques *et al.* 2017). 최소다각형법은 행동권을 추정하는 가장 일반적인 방법으로 도출된 좌표의 최외각 점을 연결하여 만들어진 다각형의 면적을 구하는 방법이다(Mohr 1947). 핵심밀도추정법은 얻어진 좌표 분포의 점집합으로부터 확률밀도를 추정하여 등충선을 연결하여 행동권을 추정하는 방법이다(Worton 1989). 핵심밀도추정법을 통한 행동권 분석 시 평활매개변수(smoothing parameter) 도출을 위해 Plug-in 방법과 고정 kernel법을 사용하였다(Silvy 2012).

행동권 내 서식지 이용을 파악하기 위해 고도와 경사도, 사면향, 수계로부터의 거리, 임상(침엽수, 활엽수), 영급, 경급, 수관밀도 등 8가지의

환경변수를 설정하였다(임 2014, Table 4-1). 고도, 경사도, 사면향은 국토지리정보원에서 제공하는 수치표고모델(digital elevation model: DEM)을 통해 도출하였으며, 수계로부터의 거리는 WAMIS에서 제공하는 하천차수도를 이용하여 분석하였다. 임상(침엽수, 활엽수), 영급, 경급, 수관밀도는 산림청에서 제공하는 1:5,000 임상도에서 산림청 임상도제작 세부지침 내 구분기준을 이용하여 구분하고 분석하였다(Table 4-2).

행동권 분석은 R 프로그램을 이용하여 실시하였다(Walter and Fischer 2016). 행동권 중첩과 이동거리 분석, 서식지 이용 파악을 위한 환경변수는 무선위치추적을 통해 도출된 좌표정보를 통해 ArcGIS 10.1 (ESRI Inc., U.S.A)를 이용하여 계산하였다. 하늘다람쥐의 시기별 행동권 크기, 성별 행동권 크기 차이 파악을 위해 Mann-Whitney U test를 이용하였고 성별 행동권 중첩 차이 파악을 위해 Kruskal-Wallis test를 실시하였다.

Table 4-1. Environmental factors used in spatial analysis

Environmental factors	Data	Source
Elevation	DEM (digital elevation model)	National Geographic Information Institute (2010)
Slope		
Aspect		
Distance from stream	Stream order map	WAMIS (2017)
Forest type		
Forest age class	Digital forest type map (1:5,000)	Korea Forest Service (2013)
DBH class		
Tree density		

Table 4-2. Classification and description of environmental factors

Environmental factors	Class	Description
Forest age class	1	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 1 to 10 year-old trees
	2	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 11 to 20 year-old trees
	3	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 21 to 30 year-old trees
	4	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 31 to 40 year-old trees
	5	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 41 to 50 year-old trees
	6	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 51 to 60 year-old trees
	7	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 61 to 70 year-old trees
	8	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 71 to 80 year-old trees
	9	At least 50% of the total canopy cover is occupied by 81 to 90 year-old trees
DBH ^a class	1	Saplings, trees with less than 6cm of DBH occupies at least 50% of the total canopy cover
	2	Small, trees with 6-18cm of DBH occupies at least 50% of the total canopy cover
	3	Middle, trees with 19-30cm of DBH occupies at least 50% of the total canopy cover
	4	Large, trees with larger than 30cm of DBH occupies at least 50% of the total canopy cover
Crown density	1	Sparse, dominant tree canopy occupies at least 50% of the total canopy cover
	2	Moderate, dominant tree canopy occupies at least 51%-70% of the total canopy cover
	3	Dense, dominant tree canopy occupies more than 70% of the total canopy cover

^a diameter at breast height

Ⅲ. 연구결과

1. 포획 및 무선위치추적

연구대상지인 원주 백운산 지역 인공둥지 모니터링 시 확인된 21마리의 성체를 포획하여 발신기를 부착하였다(Table 4-3). 무선위치추적 기간 동안 발신기를 부착한 하늘다람쥐 중 총 17마리의 추적에 성공하여 81%의 추적 성공률을 보였다. 이 중 행동권 분석에 이용한 12마리(수컷 6마리, 암컷 6마리)의 무선위치추적 좌표수는 평균 61.25 ± 13.21 개로 나타났다. SFS17 개체가 160개로 가장 많았으며, SFS03 개체가 32개로 가장 적었다. 시기별 무선위치추적 성공률은 번식기에 52.4%(21마리 중 11마리: 수컷 5마리, 암컷 6마리)로 나타났으며, 비번식기에 23.8%(21마리 중 5마리: 수컷 4마리, 암컷 1마리)로 낮게 확인되었다.

Table 4-3. Information on the radio-tracked Siberian flying squirrel

No.	ID	Sex	Body mass (g)	Remark
1	SFS01	Male	109	Success
2	SFS02	Male	91	Fail
3	SFS03	Female	101.5	Success
4	SFS04	Female	98.8	Fail
5	SFS06	Female	111.5	Success
6	SFS07	Female	89	Success
7	SFS10	Male	99	Success
8	SFS11	Male	119	Success
9	SFS12	Female	91.5	Success
10	SFS13	Male	99.5	Fail
11	SFS14	Female	91.5	Success
12	SFS15	Male	86.8	Success
13	SFS17	Male	103	Success
14	SFS20	Female	104	Success
15	SFS22	Male	102	Success
16	SFS23	Female	124	Success
17	SFS25	Male	106	Fail
18	SFS26	Male	89.4	Success
19	SFS27	Female	119.5	Success
20	SFS28	Male	97.1	Success
21	SFS29	Female	91	Success

2. 행동권 크기

2-1. 전체 행동권

최소다각형법(MCP)을 이용하여 분석한 결과 하늘다람쥐 행동권은 100% MCP일 때 $15.12 \pm 3.18\text{ha}$, 95% MCP에서는 $11.24 \pm 2.75\text{ha}$ 로 나타났다. 그리고 핵심밀도추정법(KDE)를 통해 분석한 결과 99% KDE일 때 $26.73 \pm 6.19\text{ha}$, 95% KDE에서는 $18.92 \pm 4.46\text{ha}$ 로 도출되었다(Table 4-4). 행동권 크기를 살펴본 결과 MCP방법에서는 SFS07 개체의 행동권(100%: 38.19ha , 95%: 35.39ha)이 가장 넓게 나타났으나 KDE방법에서는 SFS10 개체의 행동권(99%: 72.17ha , 95%: 52.69ha)이 가장 넓게 나타났다. 반면에 SFS27 개체의 행동권이 MCP방법(100%: 1.88ha , 95%: 1.85ha)과 KDE방법(99%: 5.09ha , 95%: 3.78ha) 모두에서 가장 작게 확인되었다(Fig. 4-1).

하늘다람쥐의 핵심서식지 파악을 위해 50% MCP와 KDE를 분석한 결과 핵심서식지의 면적은 각각 $2.75 \pm 1.04\text{ha}$ (50% MCP), $3.54 \pm 1.17\text{ha}$ (50% KDE)로 나타났다. 행동권 크기가 가장 크게 도출된 SFS10 개체의 핵심서식지 면적(MCP: 13.43ha , KDE: 8.69ha)이 가장 넓게 나타났다. 반면에 MCP방법을 통한 핵심서식지 면적은 SFS27 개체(0.46ha)가 가장 작게 도출되었다. 그리고 KDE방법에서는 SFS22 개체의 핵심서식지 면적(0.62ha)이 가장 작게 나타났다(Table 4-2, Fig. 4-2).

Table 4-4. Home range sizes of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) from Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
SFS01	12.76	8.68	1.95	22.02	15.49	2.29
SFS03	23.17	15.38	1.42	42.98	30.72	4.24
SFS07	38.19	35.39	5.44	59.48	41.39	5.49
SFS10	27.62	22.16	13.43	72.17	52.69	15.46
SFS11	11.93	9.74	1.37	25.65	18.63	3.65
SFS12	9.40	6.01	1.80	19.53	14.06	3.12
SFS17	25.89	17.37	2.89	32.25	22.05	3.13
SFS20	5.28	2.39	0.75	7.73	5.27	1.11
SFS22	10.64	5.64	1.46	9.92	6.53	0.62
SFS26	8.02	5.62	1.12	12.57	8.54	1.17
SFS27	1.88	1.85	0.46	5.09	3.78	1.09
SFS29	6.67	4.59	0.93	11.36	7.89	1.08
Mean±S.D.	15.12±3.18	11.24±2.75	2.75±1.04	26.73±6.19	18.92±4.46	3.54±1.17

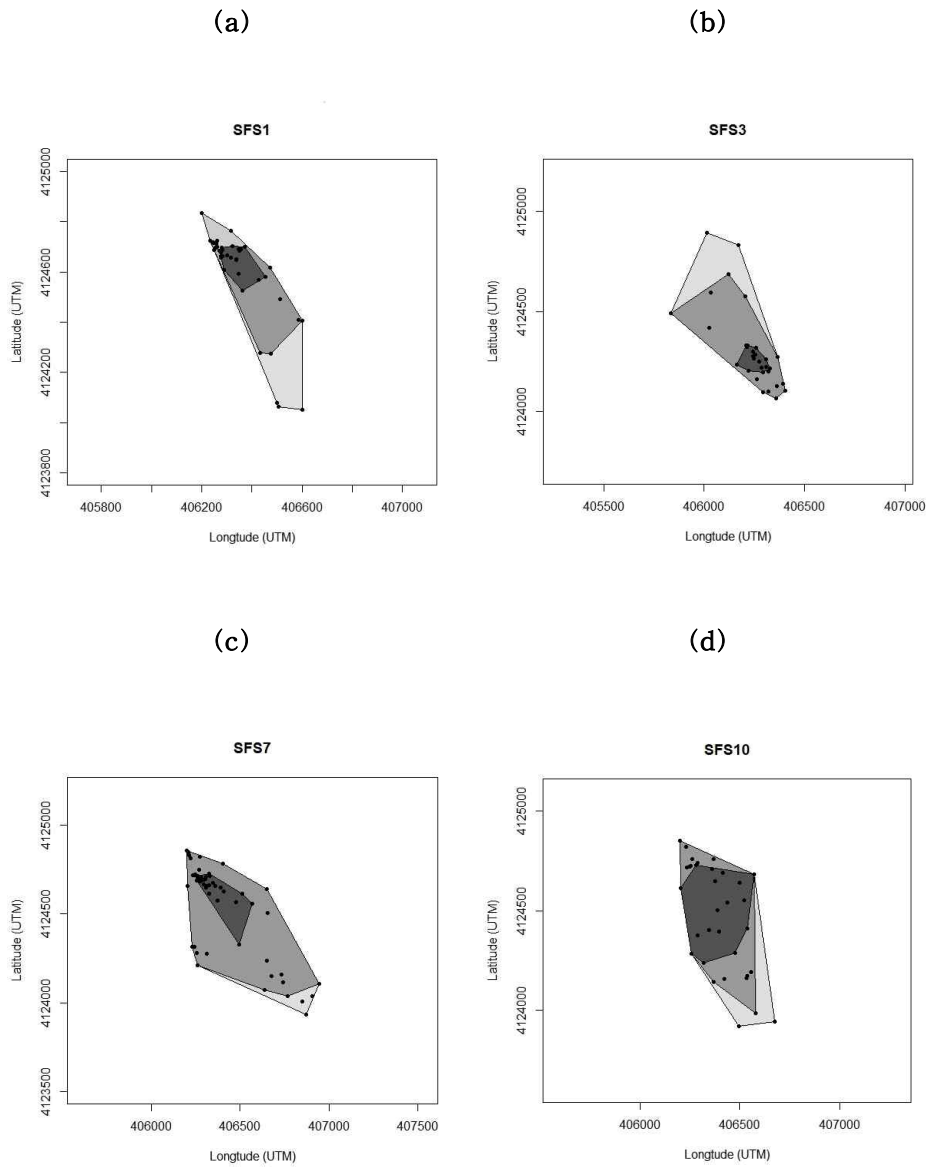


Fig. 4-1. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS10, (e) SFS11, (f) SFS12, (g) SFS17, (h) SFS20, (i) SFS22, (j) SFS26, (k) SFS27, and (l) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) from Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 100%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%)

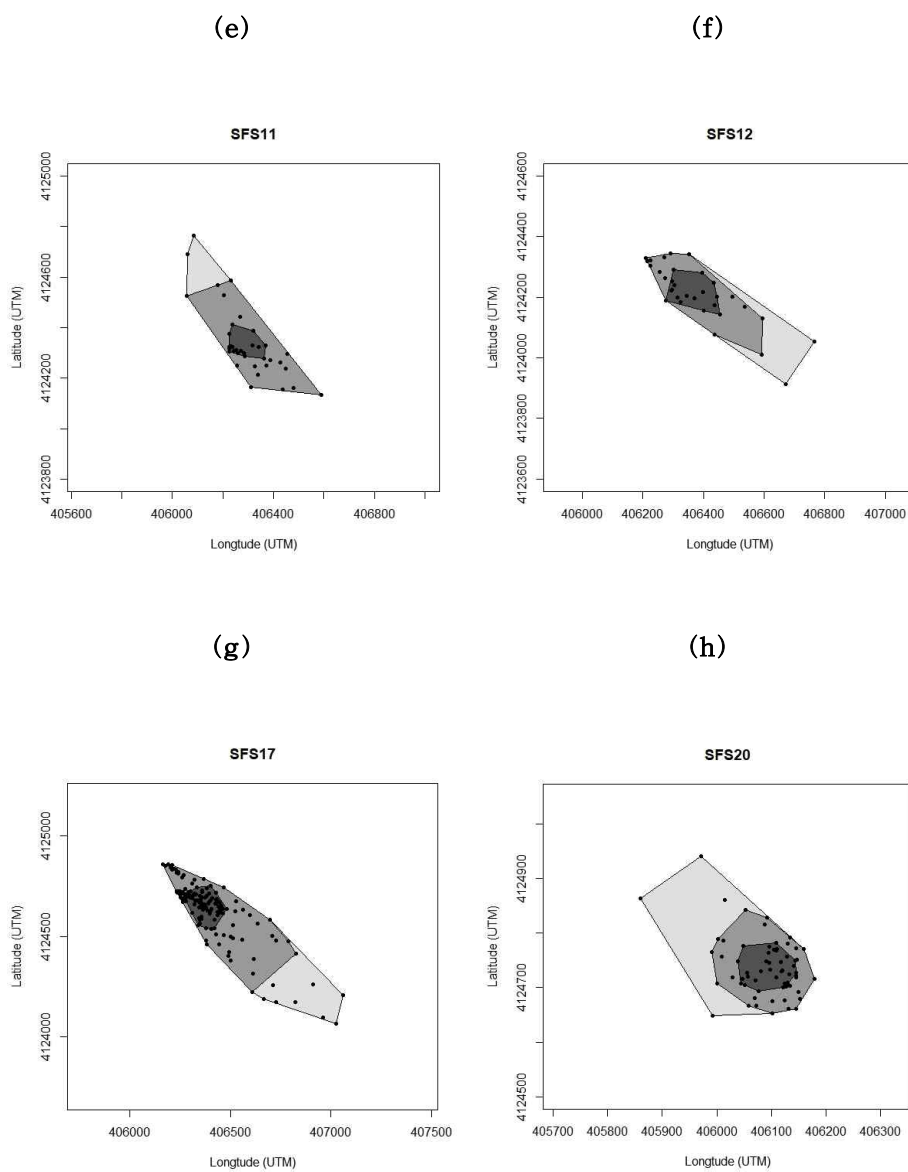


Fig. 4-1. Continued

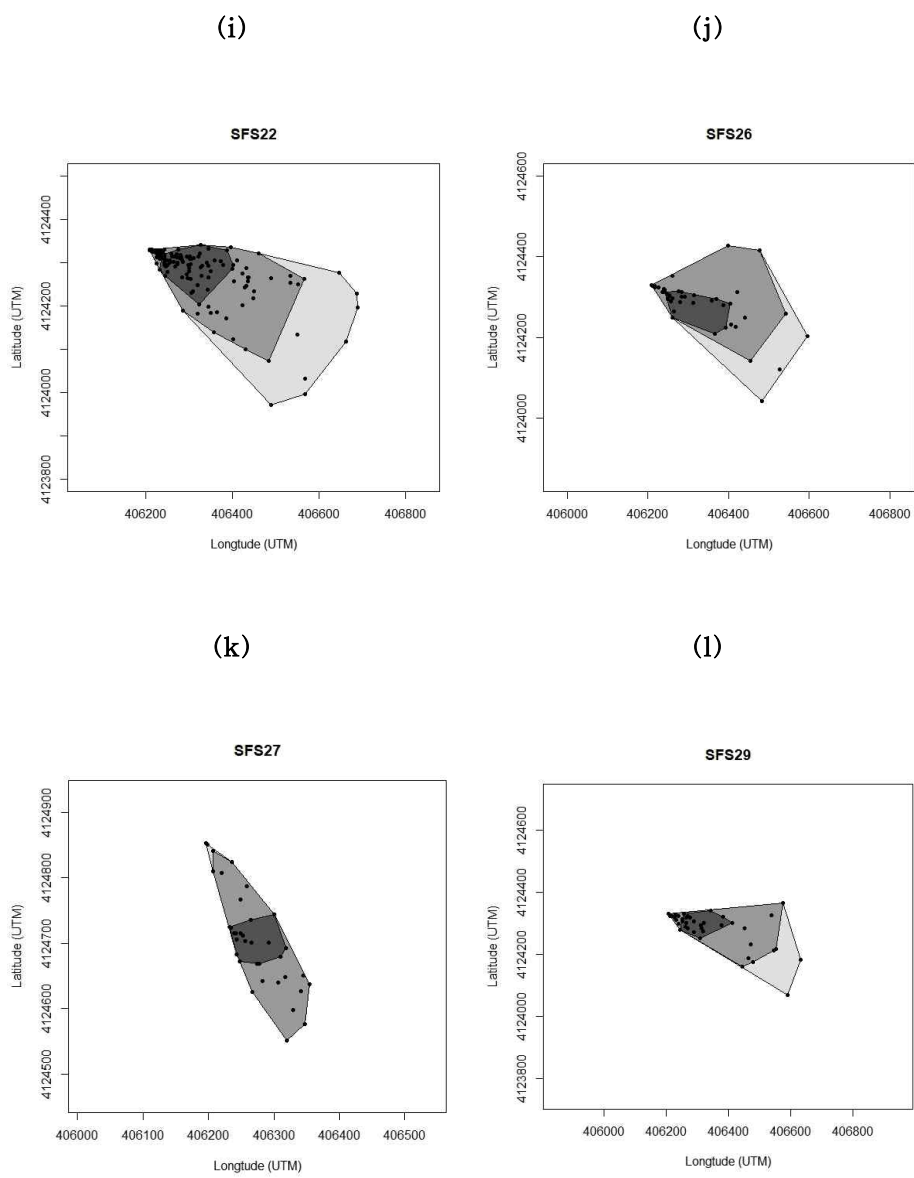


Fig. 4-1. Continued

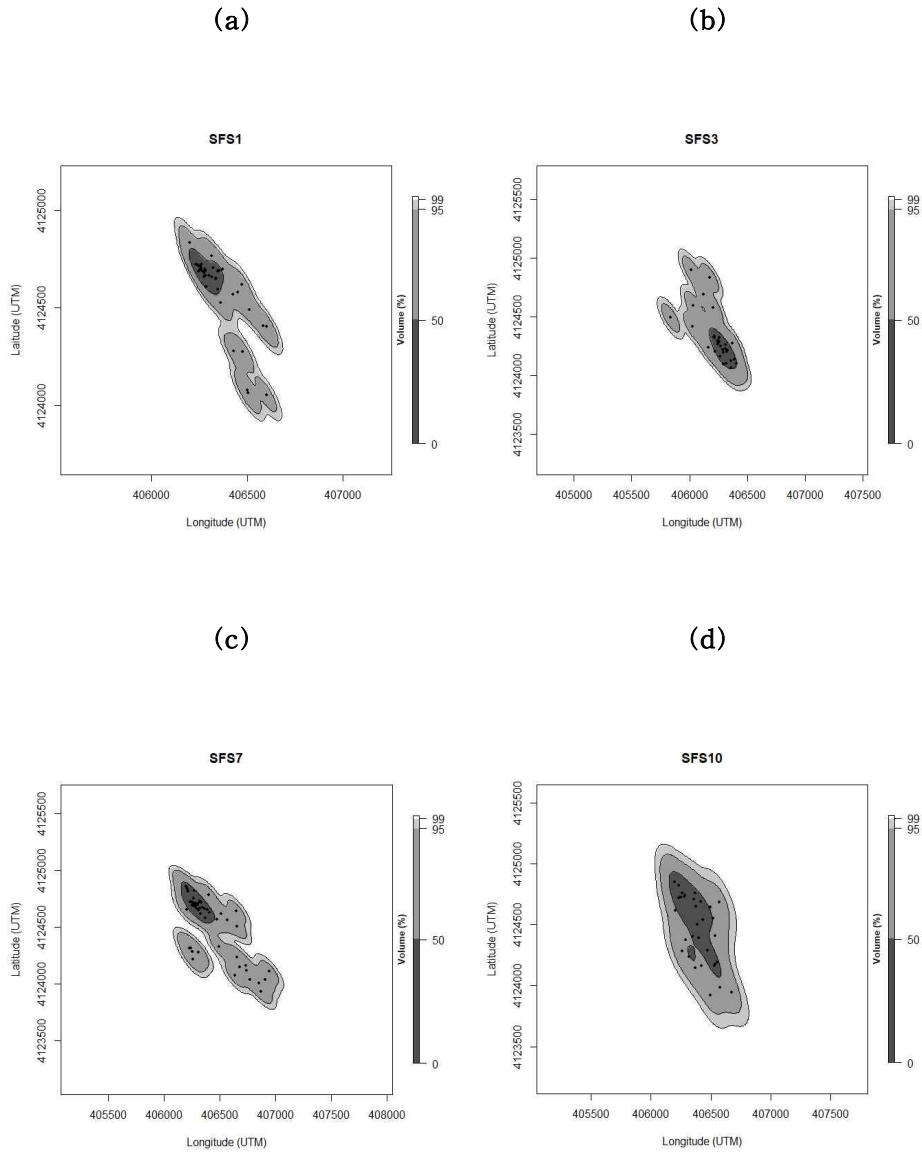


Fig. 4-2. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS10, (e) SFS11, (f) SFS12, (g) SFS17, (h) SFS20, (i) SFS22, (j) SFS26, (k) SFS27, and (l) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by KDE (kernel density estimator) from Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 99%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%)

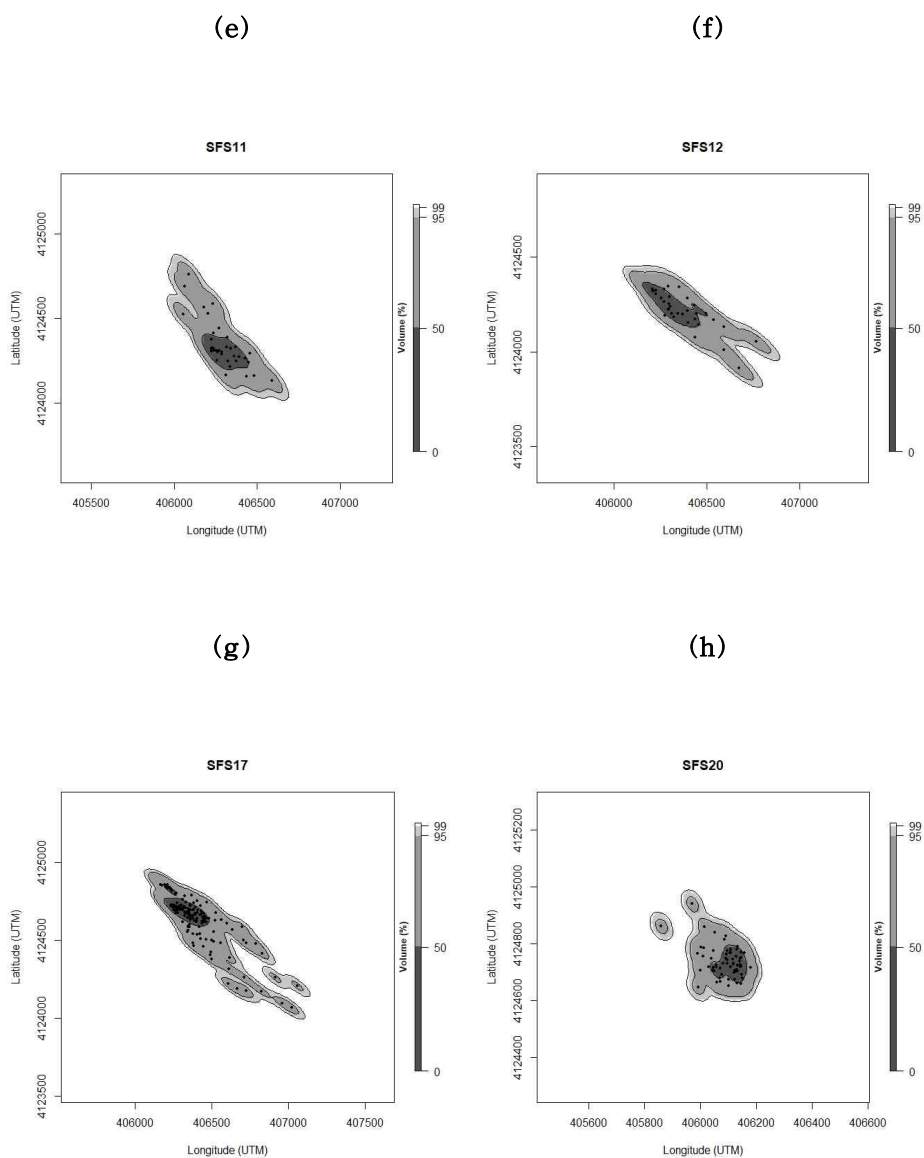
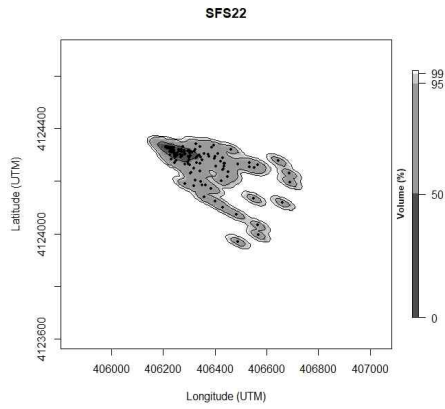
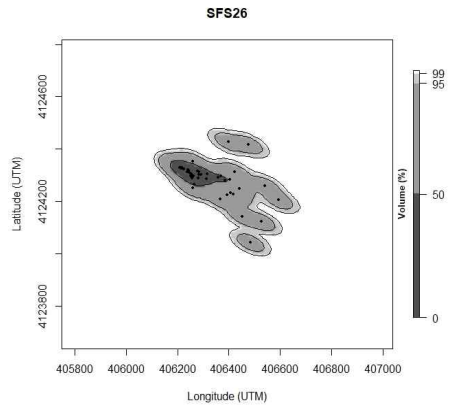


Fig. 4-2. Continued

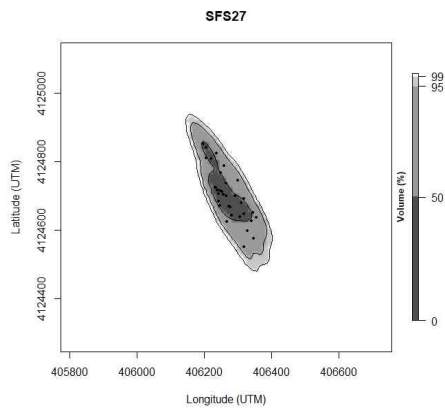
(i)



(j)



(k)



(l)

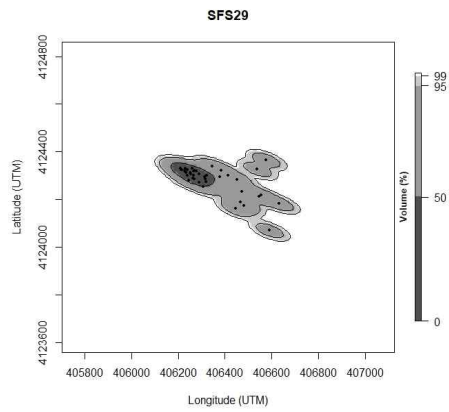


Fig. 4-2. Continued

2-2. 시기별 행동권

하늘다람쥐의 시기별 행동권 크기를 분석한 결과, 번식기(3월~8월) 행동권은 100% MCP일 때 $11.10 \pm 2.85\text{ha}$, 95% MCP에서 $7.05 \pm 1.59\text{ha}$ 로 나타났다. 그리고 99% KDE일 때 $18.66 \pm 3.59\text{ha}$, 95% KDE에서는 $12.90 \pm 2.38\text{ha}$ 로 도출되었다(Table 4-5, Fig. 4-3, 4-4). 비번식기(9월~2월) 행동권은 100% MCP일 때 $5.32 \pm 3.34\text{ha}$, 95% MCP에서 $2.19 \pm 1.05\text{ha}$ 로 나타났으며, 99% KDE일 때 $8.72 \pm 3.82\text{ha}$, 95% KDE에서는 $5.31 \pm 1.95\text{ha}$ 로 도출되어 번식기 행동권이 더 크게 나타났다(Table 4-6, Fig. 4-5, 4-6).

시기별 핵심서식지를 분석한 결과 번식기에는 $1.29 \pm 0.23\text{ha}$ (50% MCP)와 $2.15 \pm 0.36\text{ha}$ (50% KDE)로 나타났으며, 비번식기에는 $0.53 \pm 0.29\text{ha}$ (50% MCP)와 $0.87 \pm 0.32\text{ha}$ (50% KDE)로 확인되었다. 번식기 핵심서식지 크기 또한 비번식기에 비하여 더 크게 나타났다. 하늘다람쥐의 시기별 행동권 크기 비교를 위해 통계분석을 실시한 결과, 95% MCP 결과와 95% KDE 결과에서 유의한 차이를 보였다(Mann-Whitney U test, 95% MCP: $Z = -2.16$, $p = 0.03$, 95% KDE: $Z = -1.96$, $p = 0.04$, Table 4-7). 시기에 따른 핵심서식지 크기 또한 유의한 차이를 나타냈다(50% MCP: $Z = -1.96$, $p = 0.04$, 50% KDE: $Z = -2.09$, $p = 0.03$).

Table 4-5. Home range sizes of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
SFS01	5.20	4.26	0.87	9.27	6.84	0.93
SFS03	10.36	6.23	0.74	25.06	17.47	3.12
SFS07	33.69	18.34	1.14	42.11	27.82	3.45
SFS11	9.28	7.09	1.42	22.64	16.62	3.48
SFS12	9.40	6.01	1.90	20.18	14.54	3.35
SFS17	23.93	15.74	3.20	35.47	23.74	3.47
SFS20	3.60	1.78	0.86	6.87	4.63	1.09
SFS22	10.64	6.02	1.72	11.27	7.61	0.79
SFS26	7.49	5.60	0.98	15.88	11.01	1.80
SFS27	1.88	1.85	0.46	5.10	3.78	1.10
SFS29	6.67	4.59	0.93	11.36	7.89	1.09
Mean±S.D.	11.10±2.85	7.05±1.59	1.29±0.23	18.66±3.59	12.90±2.38	2.15±0.36

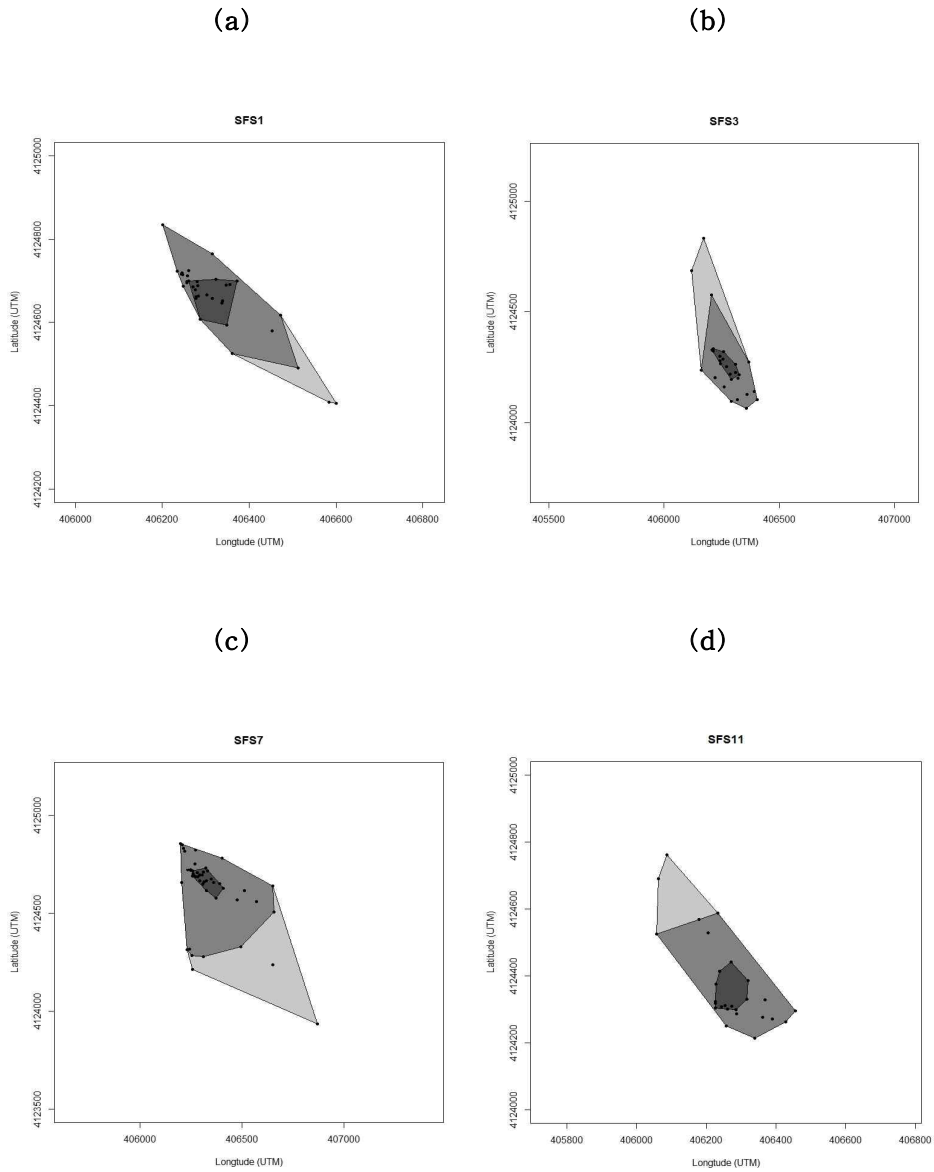
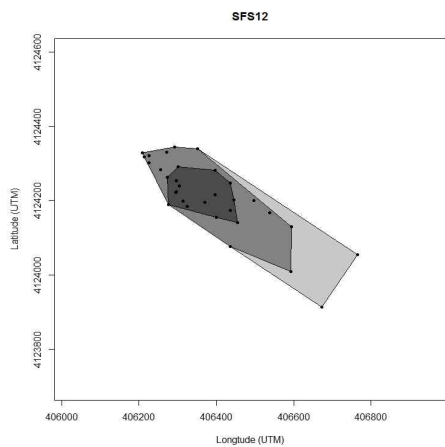
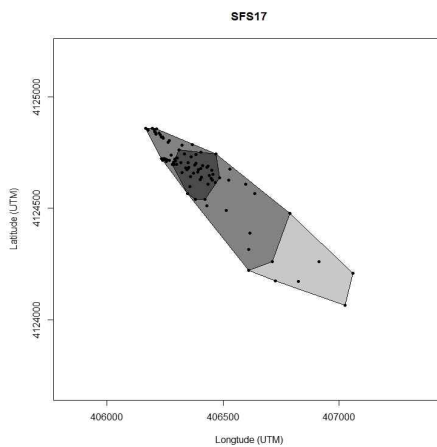


Fig. 4-3. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS11, (e) SFS12, (f) SFS17, (g) SFS20, (h) SFS22, (i) SFS26, (j) SFS27, and (k) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 100%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%)

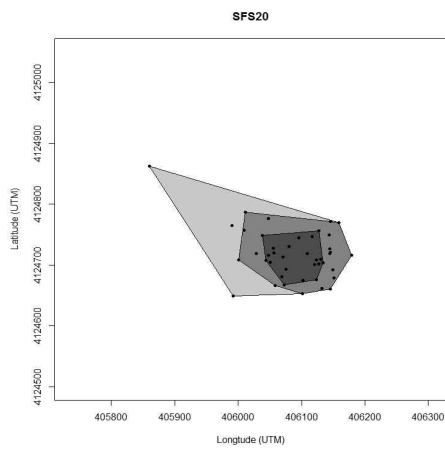
(e)



(f)



(g)



(h)

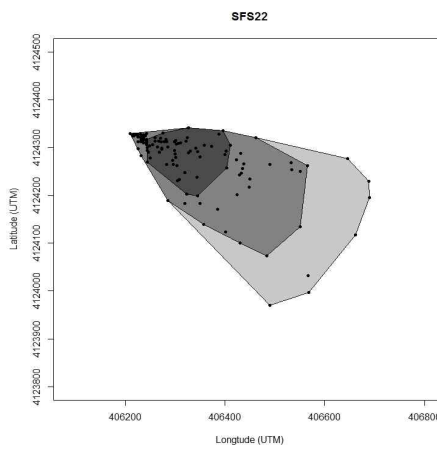
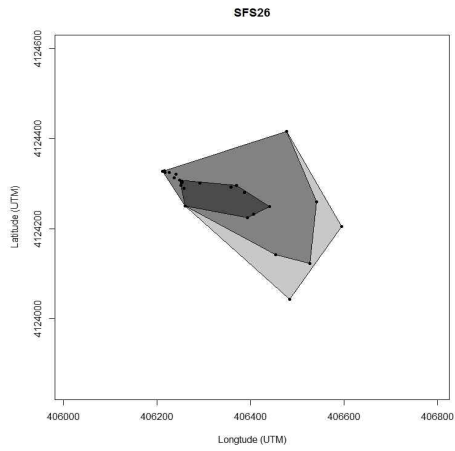
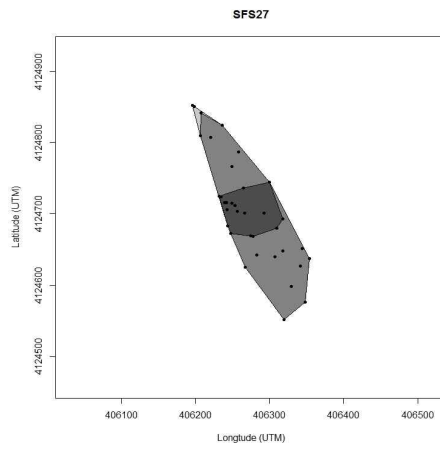


Fig. 4-3. Continued

(i)



(j)



(k)

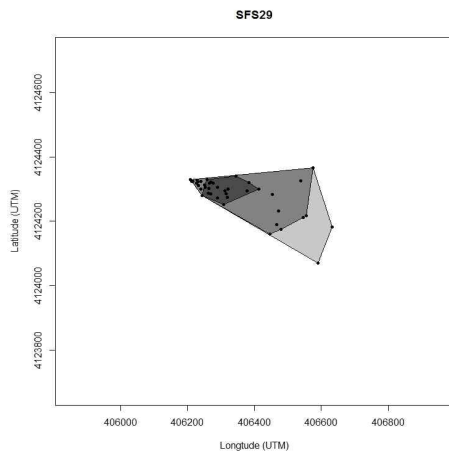


Fig. 4-3. Continued

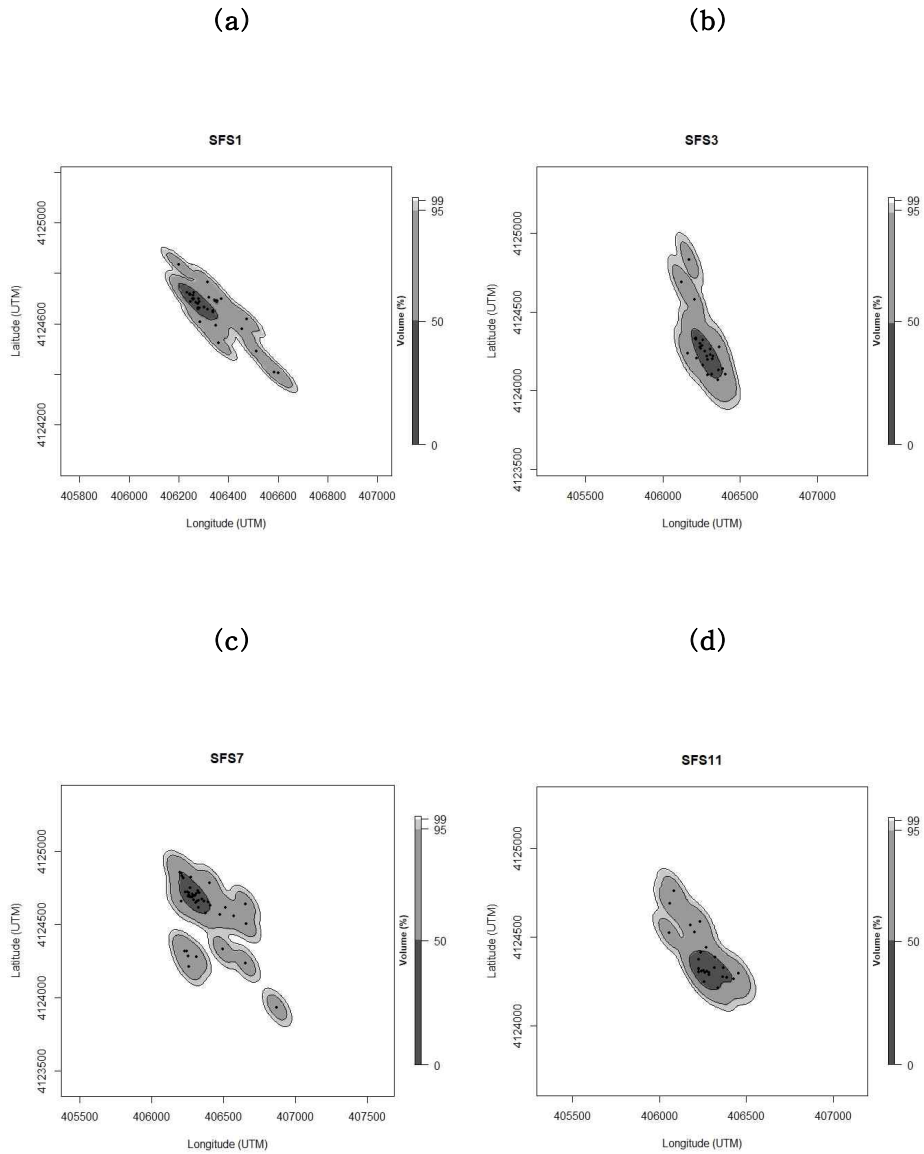


Fig. 4-4. Home range sizes of (a) SFS1, (b) SFS3, (c) SFS7, (d) SFS11, (e) SFS12, (f) SFS17, (g) SFS20, (h) SFS22, (i) SFS26, (j) SFS27, and (k) SFS29 Siberian flying squirrel estimated by KDE (kernel density estimator) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 99%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%)

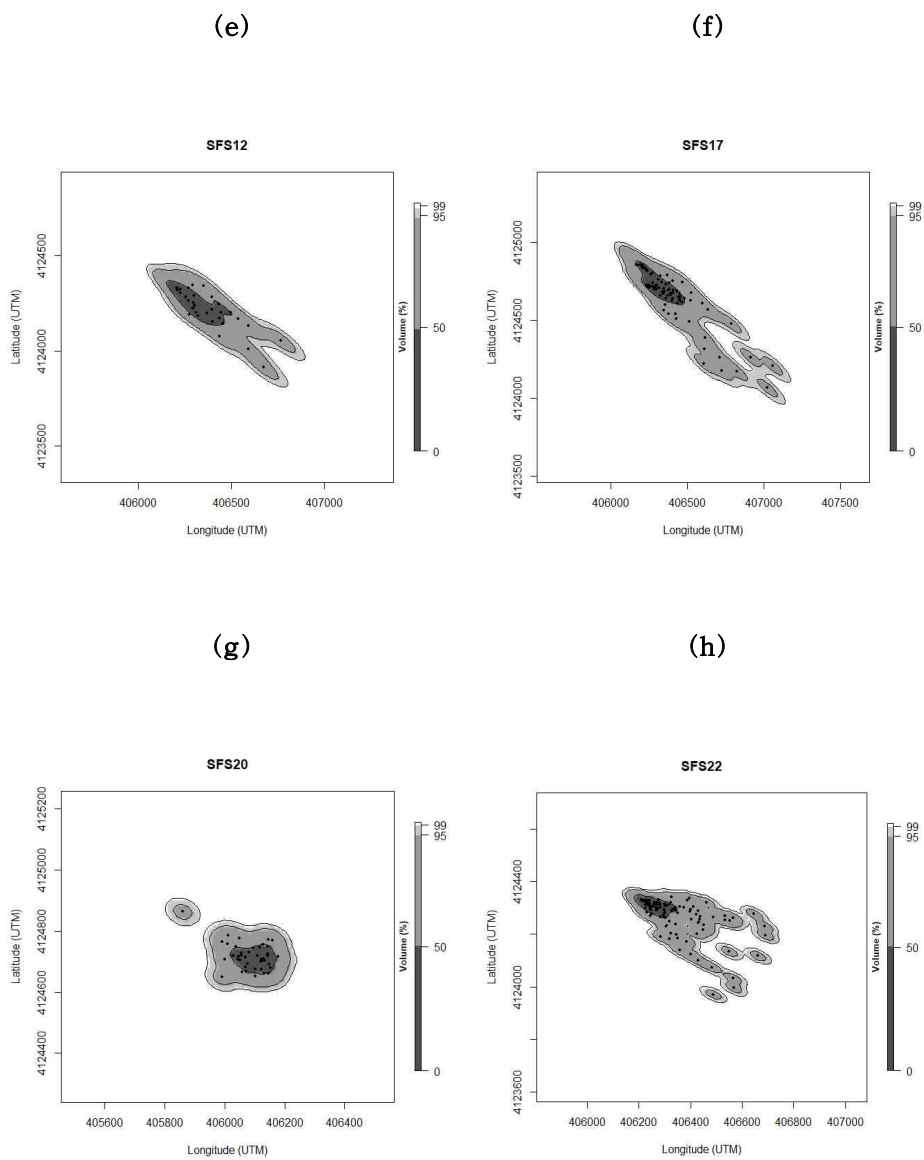
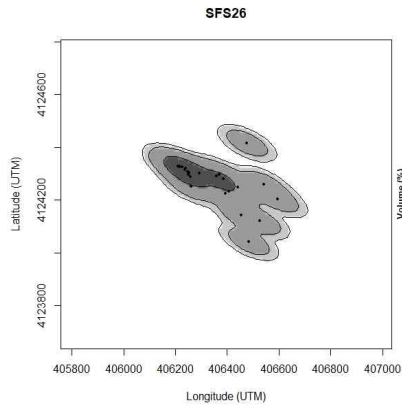
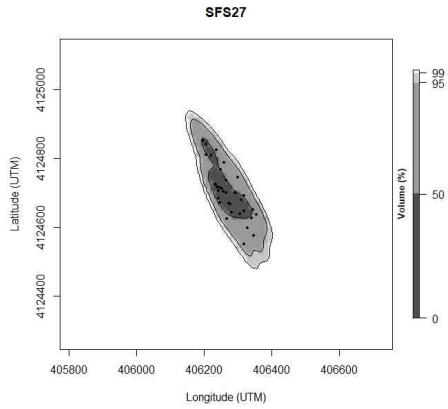


Fig. 4-4. Continued

(i)



(j)



(k)

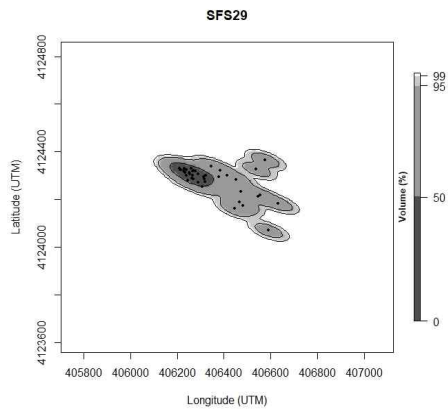


Fig. 4-4. Continued

Table 4-6. Home range sizes of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
SFS17	15.29	5.24	1.38	19.76	10.76	1.75
SFS20	1.62	1.00	0.21	4.50	3.15	0.58
SFS22	1.59	0.66	0.17	2.85	1.96	0.27
SFS26	2.76	1.85	0.36	7.75	5.31	0.86
Mean±S.D.	5.32±3.34	2.19±1.05	0.53±0.29	8.72±3.82	5.31±1.95	0.87±0.32

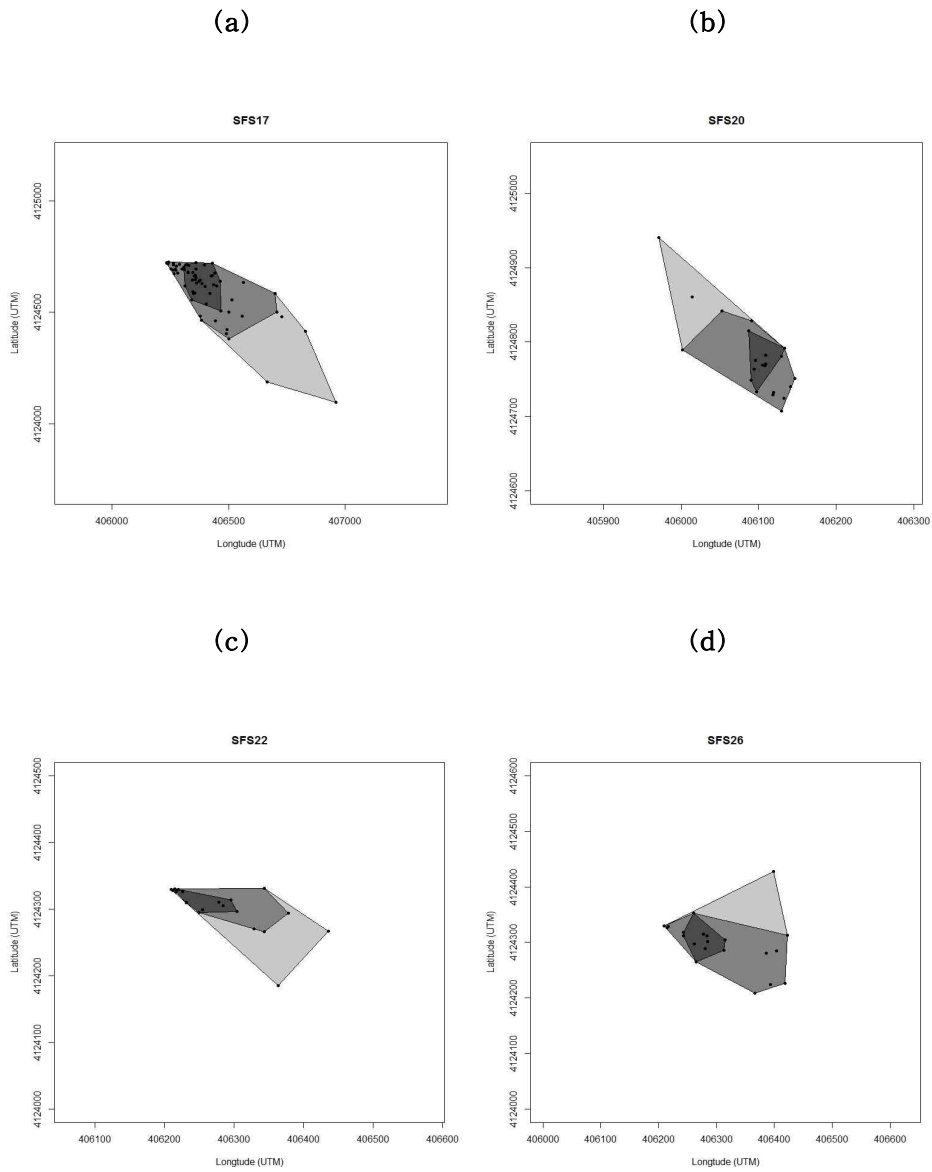


Fig. 4-5. Home range sizes of (a) SFS17, (b) SFS20, (c) SFS22, and (d) SFS26 Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 100%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%)

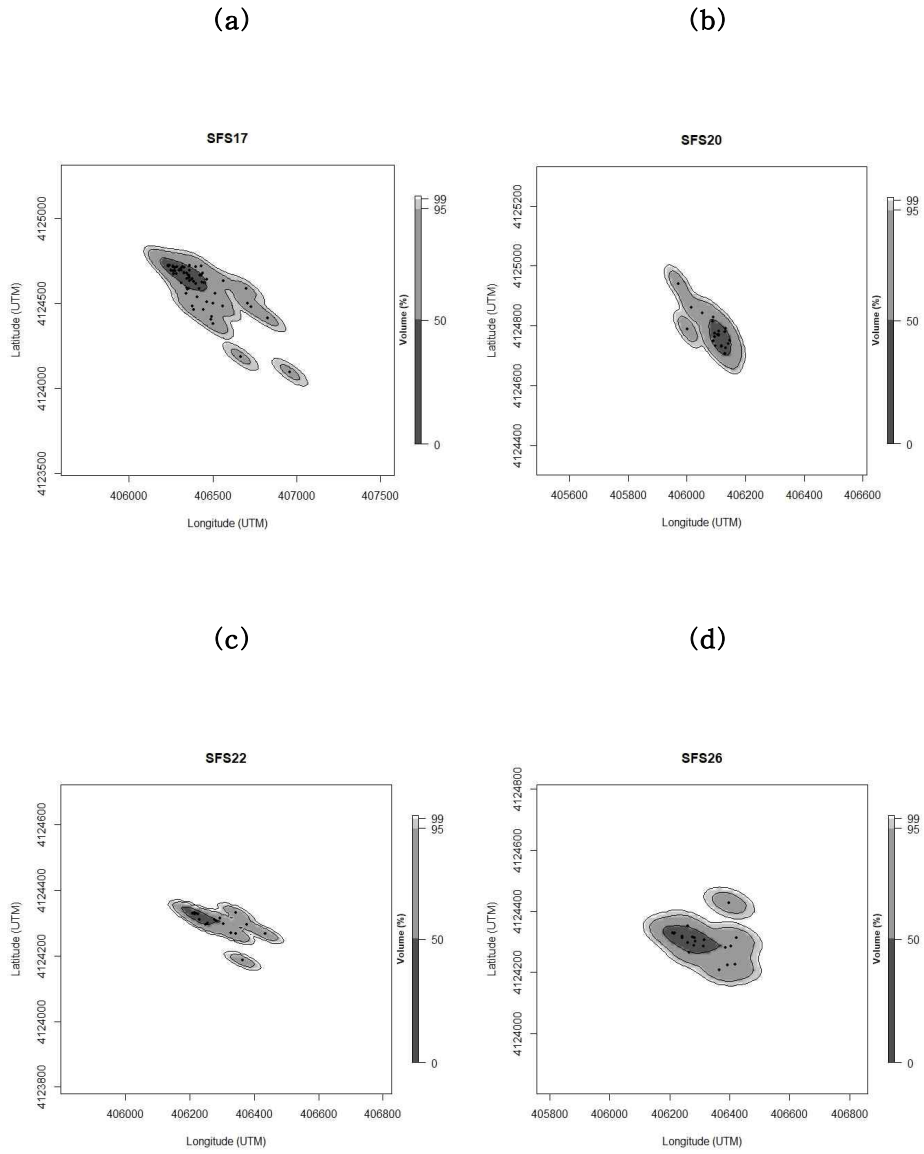


Fig. 4-6. Home range sizes of (a) SFS17, (b) SFS20, (c) SFS22, and (d) SFS26 Siberian flying squirrel estimated by KDE (kernel density estimator) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea (dark grey indicate 99%, grey indicate 95%, light grey indicate 50%)

Table 4-7. Home range difference of Siberian flying squirrel between breeding season and non-breeding season in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
Breeding season	11.10±2.85 ^a	7.05±1.59	1.29±0.23	18.66±3.59	12.90±2.38	2.15±0.36
Non-breeding season	5.32±3.34	2.19±1.05	0.53±0.29	8.72±3.82	5.31±1.95	0.87±0.32
Z	-1.57	-2.16	-1.96	-1.83	-1.96	-2.09
p	0.12	0.03	0.04	0.06	0.04	0.03

^a mean±S.D.

Comparisons between breeding season and non-breeding season based on a Mann-Whitney U test

2-3. 성별 행동권

하늘다람쥐의 행동권을 성별에 따라 비교한 결과 수컷의 행동권은 100% MCP에서 $16.14 \pm 3.43\text{ha}$, 95% MCP에서는 $11.54 \pm 2.76\text{ha}$ 로 나타났다. 그리고 99% KDE에서는 $13.78 \pm 5.15\text{ha}$, 95% KDE는 $12.73 \pm 4.80\text{ha}$ 를 보였다. 암컷의 행동권은 100% MCP에서 $14.10 \pm 5.68\text{ha}$, 95% MCP에서는 $10.94 \pm 5.28\text{ha}$ 를 나타냈다. 그리고 99% KDE에서는 $9.16 \pm 3.16\text{ha}$, 95% KDE는 $8.70 \pm 3.09\text{ha}$ 로 나타났다. 수컷의 핵심서식지는 $3.70 \pm 1.96\text{ha}$ (50% MCP)와 $2.53 \pm 1.27\text{ha}$ (50% KDE)로 나타났으며, 암컷은 $1.80 \pm 0.75\text{ha}$ (50% MCP)와 $1.57 \pm 0.42\text{ha}$ (50% KDE)로 확인되었다. 수컷의 행동권이 상대적으로 크게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다(Mann-Whitney U test, 100% MCP: $Z = -1.12$, $p = 0.26$, 95% MCP: $Z = -0.96$, $p = 0.33$, 50% MCP: $Z = -1.28$, $p = 0.20$, 99% KDE: $Z = -0.80$, $p = 0.42$, 95% KDE: $Z = -0.80$, $p = 0.42$, 50% KDE: $Z = -0.32$, $p = 0.74$, Table 4-8).

성별에 따른 시기별 행동권 크기를 분석한 결과, 번식기 수컷의 행동권은 100% MCP에서 $11.31 \pm 3.28\text{ha}$, 95% MCP에서는 $7.74 \pm 2.05\text{ha}$ 로 나타났다. 그리고 99% KDE에서는 $18.91 \pm 4.74\text{ha}$, 95% KDE는 $13.16 \pm 3.16\text{ha}$ 를 보였다. 암컷은 100% MCP에서 $10.93 \pm 4.74\text{ha}$, 95% MCP에서는 $6.47 \pm 2.50\text{ha}$ 를 보였으며, 99% KDE에서는 $18.45 \pm 5.68\text{ha}$, 95% KDE는 $12.69 \pm 3.75\text{ha}$ 로 나타났다. 번식기 수컷의 핵심서식지는 $1.64 \pm 0.42\text{ha}$ (50% MCP)와 $2.09 \pm 0.59\text{ha}$ (50% KDE)로 나타났으며, 암컷의 경우 $1.01 \pm 0.20\text{ha}$ (50% MCP)와 $2.20 \pm 0.50\text{ha}$ (50% KDE)로 확인되었다. 번식기 성별에 따른 행동권 및 핵심서식지의 크기는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(100% MCP: $Z = -0.55$, $p = 0.58$, 95% MCP: $Z = -0.73$, $p = 0.46$,

50% MCP: $Z=-1.15$, $p=0.14$, 99% KDE: $Z=-0.18$, $p=0.85$, 95% KDE: $Z=-0.18$, $p=0.85$, 50% KDE: $Z=-0.16$, $p=0.89$, Table 4-9).

하늘다람쥐 수컷의 비번식기 행동권은 100% MCP에서 $6.55 \pm 4.38\text{ha}$, 95% MCP에서는 $2.58 \pm 1.37\text{ha}$ 로 나타났고, 99% KDE에서 $10.12 \pm 5.02\text{ha}$, 95% KDE에서는 $6.01 \pm 2.56\text{ha}$ 를 보였다. 암컷의 행동권은 100% MCP에서 1.62ha , 95% MCP에서는 1.00ha 를 보였으며, 99% KDE에서는 4.50ha , 95% KDE는 3.15ha 로 나타났다. 수컷의 핵심서식지는 $0.64 \pm 0.38\text{ha}$ (50% MCP)와 $0.96 \pm 0.43\text{ha}$ (50% KDE)로 나타났으며, 암컷의 경우 0.21ha (50% MCP)와 0.58ha (50% KDE)로 확인되었다(Table 4-10).

Table 4-8. Home range sizes of male and female of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) from Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
Male (n=6)	16.14±3.43 ^a	11.54±2.76	3.70±1.96	29.10±9.25	20.66±6.84	4.39±2.26
Female (n=6)	14.10±5.68	10.94±5.28	1.80±0.75	24.36±8.98	17.19±6.29	2.69±0.78
Z	-1.12	-0.96	-1.28	-0.80	-0.80	-0.32
p	0.26	0.33	0.20	0.42	0.42	0.74

^a mean±S.D.

Comparisons between male and female based on a Mann-Whitney U test

Table 4-9. Home range sizes of male and female of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
Male (n=5)	11.31±3.28 ^a	7.74±2.05	1.64±0.42	18.91±4.74	13.16±3.16	2.09±0.59
Female (n=6)	10.93±4.74	6.47±2.50	1.01±0.20	18.45±5.68	12.69±3.75	2.20±0.50
Z	-0.55	-0.73	-1.15	-0.18	-0.18	-0.16
p	0.58	0.46	0.14	0.85	0.85	0.89

^a mean±S.D.

Comparisons between male and female based on a Mann-Whitney U test

Table 4-10. Home range sizes of male and female of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Home range size (ha)					
	MCP				KDE	
	100%	95%	50%	99%	95%	50%
Male (n=3)	6.55±4.38 ^a	2.58±1.37	0.64±0.38	10.12±5.02	6.01±2.56	0.96±0.43
Female (n=1)	1.62	1.00	0.21	4.50	3.15	0.58

^a mean±S.D.

3. 행동권 중첩

하늘다람쥐의 행동권 중첩도를 분석한 결과, 번식기 하늘다람쥐의 행동권은 개체 간 높은 비율로 중첩되는 것으로 확인되었다. 번식기 하늘다람쥐 11마리의 행동권은 100% MCP에서 개체마다 적게는 3마리에서 많게는 9마리까지 중첩되는 것으로 나타났다(Table 4-11, Fig. 4-7). 그리고 99% KDE에서는 개체마다 6마리에서 10마리까지 중첩되는 것으로 나타났다(Table 4-12). 핵심서식지(50% MCP, 50% KDE)는 개체마다 최대 5마리까지 중첩되었다(Table 4-13, 4-14, Fig. 4-7).

비번식기 하늘다람쥐 4마리의 행동권은 100% MCP에서 SFS17 개체와 SFS20 개체 간 중첩되었으며(Table 4-15, Fig. 4-8), 99% KDE에서는 개체마다 1마리 또는 2마리와 중첩되는 것으로 나타났다(Table 4-16). 그리고 핵심서식지는 SFS17 개체와 SFS20 개체 간 중첩이 확인되었다(Table 4-17, 4-18, Fig. 4-8).

성별에 따른 하늘다람쥐의 행동권 중첩을 분석한 결과, 번식기 하늘다람쥐는 이성의 개체와 행동권 중첩이 높게 나타나는 경향을 보였다(Table 4-19). 핵심서식지는 암컷이 수컷보다 동성 개체와의 중첩이 낮게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Kruskal-Wallis test, 100% MCP: $\chi^2=1.38$, $p=0.50$, 50% MCP: $\chi^2=2.25$, $p=0.32$, 99% KDE: $\chi^2=1.52$, $p=0.46$, 50% KDE: $\chi^2=2.39$, $p=0.30$, Table 4-19).

Table 4-11. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 100% MCP (minimum convex polygon) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)									
	SFS01	SFS03	SFS07	SFS11	SFS12	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26	SFS27
SFS01	–	0.00	100.00	0.00	0.00	92.88	0.00	0.00	0.00	31.54
SFS03	0.00	–	41.89	57.05	23.17	0.00	3.57	23.75	19.11	0.00
SFS07	15.43	12.88	–	14.10	19.29	47.34	0.00	23.86	20.30	5.58
SFS11	0.00	63.69	51.19	–	20.26	0.00	6.68	22.31	26.83	0.00
SFS12	0.00	25.53	69.15	20.00	–	0.00	0.00	76.17	52.98	0.00
SFS17	20.18	0.00	66.65	0.00	0.00	–	0.00	2.76	5.98	5.98
SFS20	0.00	10.28	0.00	17.22	0.00	0.00	–	0.00	0.00	0.00
SFS22	0.00	23.12	75.56	19.45	67.29	6.20	0.00	–	57.80	0.00
SFS26	0.00	26.44	91.32	33.24	66.49	0.80	0.00	82.11	–	0.00
SFS27	87.23	0.00	100.00	0.00	0.00	76.06	0.00	0.00	0.00	–
SFS29	0.00	18.89	99.25	29.54	60.12	9.00	0.00	86.66	77.06	0.00

Table 4-12. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 99% KDE (kernel density estimator) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)										
	SFS01	SFS03	SFS07	SFS11	SFS12	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26	SFS27	SFS29
SFS01	–	21.04	93.31	6.90	0.00	100.00	8.52	0.00	3.67	48.98	3.56
SFS03	7.78	–	51.88	59.62	40.54	15.76	14.21	24.30	31.09	7.26	20.15
SFS07	20.54	30.87	–	27.40	21.61	54.81	5.49	17.22	22.82	12.11	17.93
SFS11	2.83	65.99	50.97	–	46.38	6.98	20.19	31.67	38.25	2.96	31.63
SFS12	0.00	50.35	45.09	52.03	–	3.17	0.00	43.36	59.22	0.00	41.87
SFS17	26.13	11.14	65.07	4.45	1.80	–	3.89	5.53	9.16	14.07	7.81
SFS20	11.50	51.82	33.62	66.52	0.00	20.09	–	0.00	0.00	7.28	0.00
SFS22	0.00	54.04	64.33	63.62	77.64	17.39	0.00	–	79.95	0.00	59.27
SFS26	2.14	49.06	60.52	54.53	75.25	20.47	0.00	56.74	–	0.00	62.15
SFS27	89.02	35.69	100.00	13.14	0.00	97.84	9.80	0.00	0.00	–	0.00
SFS29	2.90	44.45	66.46	63.03	74.38	24.38	0.00	58.80	86.88	0.00	–

Table 4-13. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% MCP (minimum convex polygon) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)									
	SFS01	SFS03	SFS07	SFS11	SFS12	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26	SFS27
SFS01	–	0.00	74.71	0.00	0.00	67.82	0.00	0.00	0.00	16.09
SFS03	0.00	–	0.00	15.63	45.31	0.00	0.00	65.63	40.63	0.00
SFS07	57.02	0.00	–	0.00	0.00	85.09	0.00	0.00	0.00	21.93
SFS11	0.00	9.80	0.00	–	0.00	0.00	0.00	17.65	1.96	0.00
SFS12	0.00	15.26	0.00	0.00	–	0.00	0.00	42.63	37.37	0.00
SFS17	18.44	0.00	30.31	0.00	0.00	–	0.00	0.00	0.00	4.38
SFS20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	–	0.00	0.00	0.00
SFS22	0.00	24.42	0.00	10.47	47.09	0.00	0.00	–	49.42	0.00
SFS26	0.00	26.53	0.00	2.04	72.45	0.00	0.00	86.73	–	0.00
SFS27	30.43	0.00	54.35	0.00	0.00	30.43	0.00	0.00	0.00	–
SFS29	0.00	20.43	0.00	18.28	21.51	0.00	0.00	98.92	46.24	0.00

Table 4-14. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% KDE (kernel density estimator) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)										
	SFS01	SFS03	SFS07	SFS11	SFS12	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26	SFS27	SFS29
SFS01	–	0.00	100.00	0.00	0.00	67.74	0.00	0.00	0.00	83.87	0.00
SFS03	0.00	–	0.00	52.24	58.33	0.00	0.00	20.19	31.41	0.00	25.32
SFS07	26.96	0.00	–	0.00	0.00	67.25	0.00	0.00	0.00	31.59	0.00
SFS11	0.00	46.84	0.00	–	47.99	0.00	0.00	22.70	46.26	0.00	30.46
SFS12	0.00	54.33	0.00	49.85	–	0.00	0.00	20.60	39.10	0.00	27.76
SFS17	18.16	0.00	66.86	0.00	0.00	–	0.00	0.00	0.00	23.63	0.00
SFS20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	–	0.00	0.00	0.00	0.00
SFS22	0.00	79.75	0.00	100.00	87.34	0.00	0.00	–	100.00	0.00	100.00
SFS26	0.00	54.44	0.00	89.44	72.78	0.00	0.00	43.89	–	0.00	60.00
SFS27	70.91	0.00	99.09	0.00	0.00	74.55	0.00	0.00	0.00	–	0.00
SFS29	0.00	72.48	0.00	97.25	85.32	0.00	0.00	72.48	99.08	0.00	–

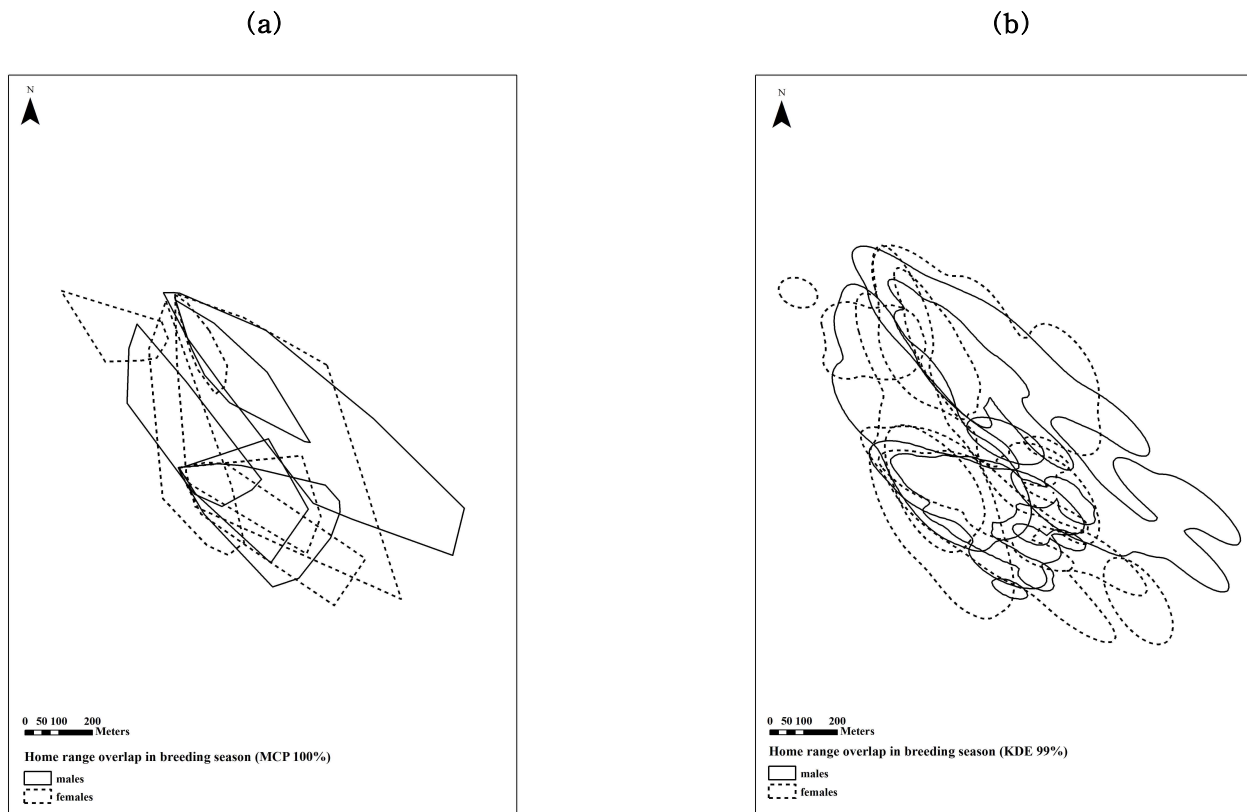


Fig. 4-7. Home range overlap of (a) MCP 100%, (b) KDE 99%, (c) MCP 50%, and (d) KDE 50% Siberian flying squirrel during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

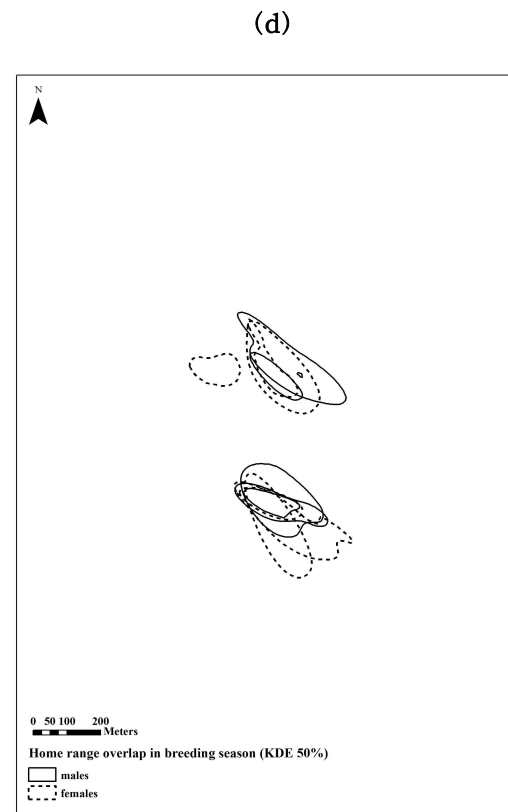
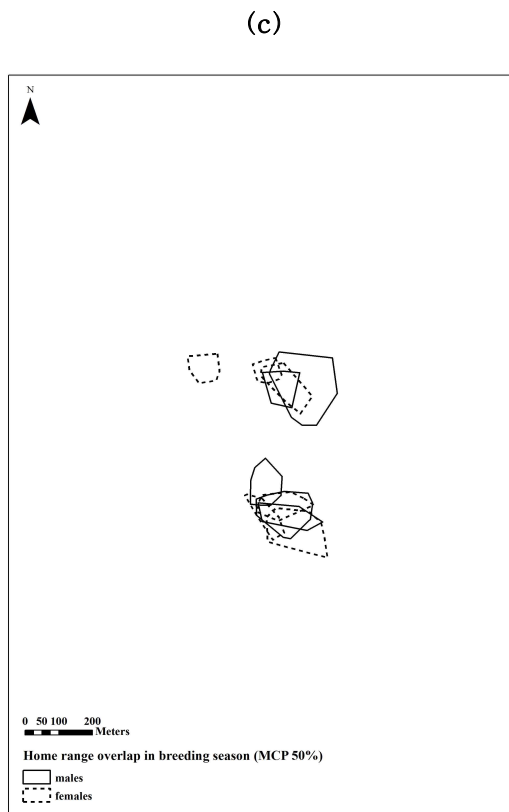


Fig. 4-7. Continued

Table 4-15. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 100% MCP (minimum convex polygon) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)			
	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26
SFS17	–	0.00	0.00	0.00
SFS20	0.00	–	0.00	0.00
SFS22	0.00	0.00	–	91.82
SFS26	0.00	0.00	52.90	–

Table 4-16. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 99% KDE (kernel density estimator) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)			
	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26
SFS17	–	4.28	0.00	4.08
SFS20	23.56	–	0.00	0.00
SFS22	0.00	0.00	–	98.25
SFS26	13.03	0.00	36.77	–

Table 4-17. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% MCP (minimum convex polygon) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)			
	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26
SFS17	–	0.00	0.00	0.00
SFS20	0.00	–	0.00	0.00
SFS22	0.00	0.00	–	70.59
SFS26	0.00	0.00	33.33	–

Table 4-18. Proportion of home range overlap of Siberian flying squirrel estimated by 50% KDE (kernel density estimator) during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)			
	SFS17	SFS20	SFS22	SFS26
SFS17	–	0.00	0.00	0.00
SFS20	0.00	–	0.00	0.00
SFS22	0.00	0.00	–	100.00
SFS26	0.00	0.00	28.57	–

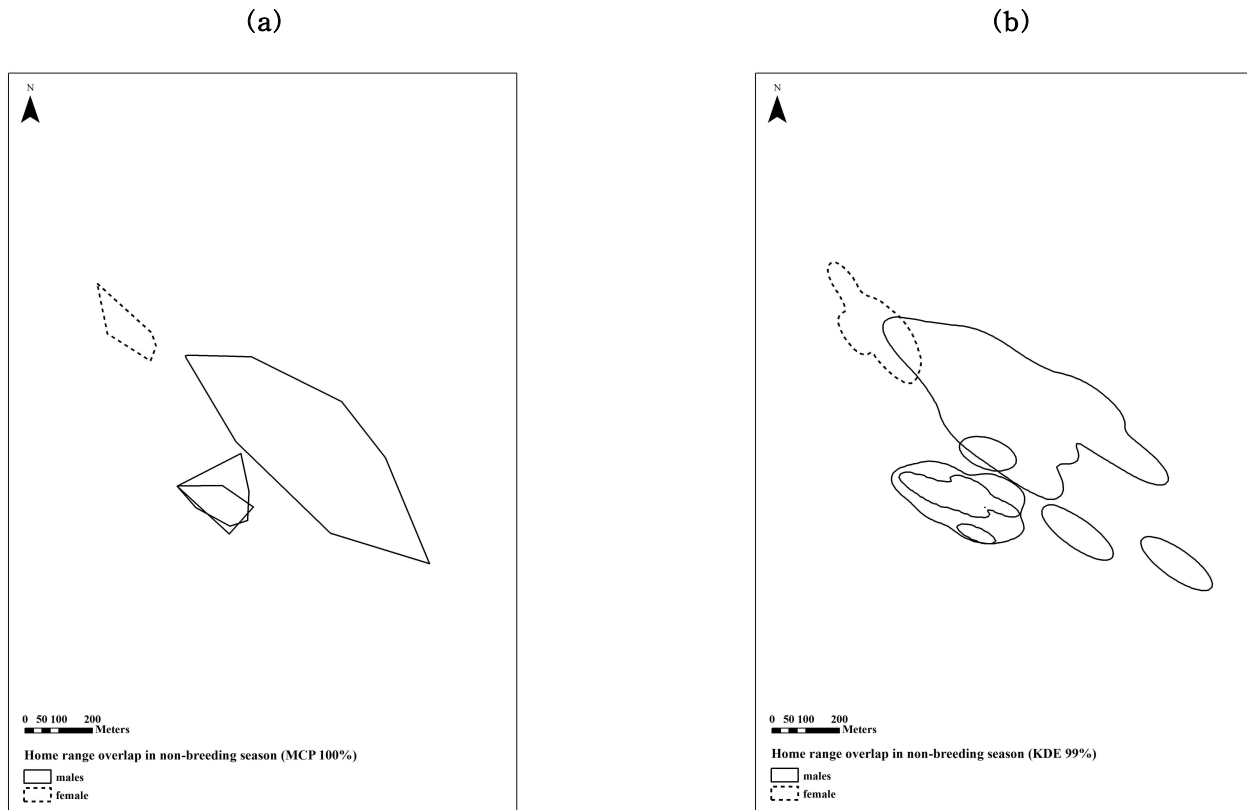


Fig. 4-8. Home range overlap of (a) MCP 100%, (b) KDE 99%, (c) MCP 50%, and (d) KDE 50% Siberian flying squirrel during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

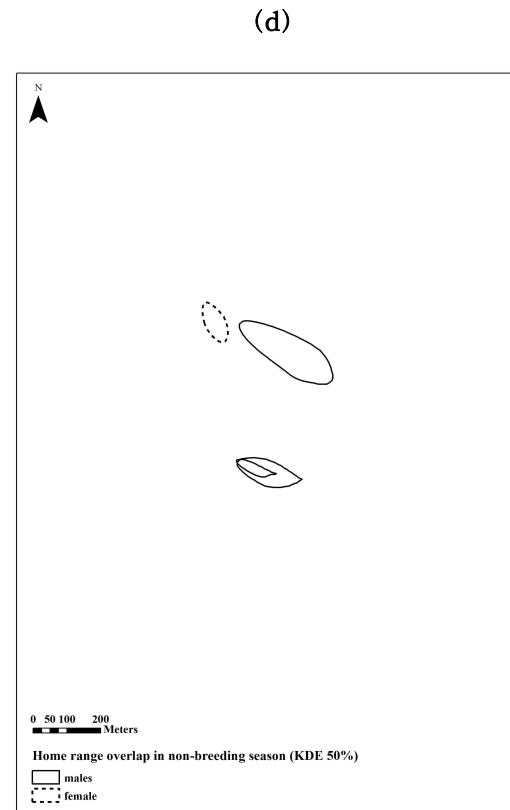
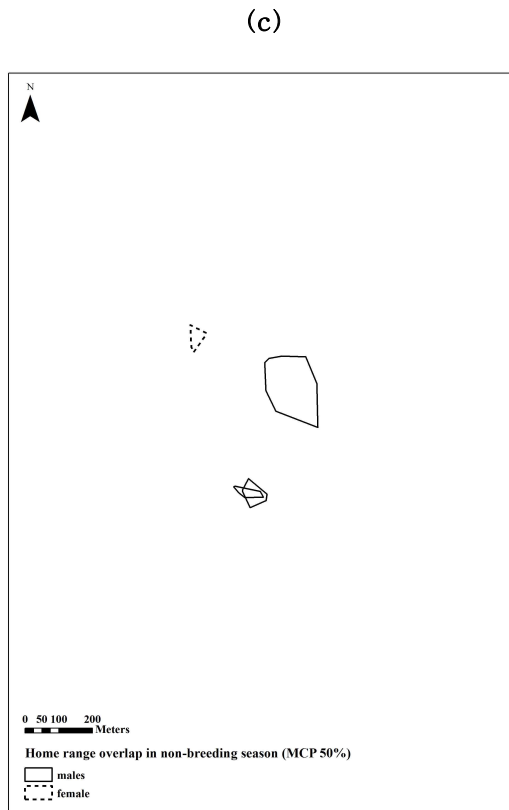


Fig. 4-8. Continued

Table 4-19. Proportion of home range overlap of males and females of Siberian flying squirrel estimated by MCP (minimum convex polygon) and KDE (kernel density estimator) during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

	Proportion of home range overlap (%)			
	MCP100%	MCP50%	KDE99%	KDE50%
Male (n=5)	18.53±7.03 ^a	12.73±6.31	26.52±7.41	24.41±9.17
Female (n=6)	18.80±5.25	7.30±2.62	26.10±4.79	15.14±5.28
Between sexes	26.60±4.03	16.47±3.30	32.88±3.79	26.26±4.47
χ^2	1.38	2.25	1.52	2.39
p	0.50	0.32	0.46	0.30

^a mean±S.D.

Comparisons between male and female based on a Kruskal-Wallis test

4. 일일행동 및 이동거리

하늘다람쥐의 일일행동 및 이동거리에 대해 분석한 결과, 번식기 하늘다람쥐는 18:00부터 이동을 시작하였다. 그리고 다음날 07:00 이후에는 이동을 하지 않았다(Fig. 4-9). 수컷은 18:00~19:00 사이에 가장 많이 이동하였으며($341.80 \pm 83.74\text{m}$), 암컷은 19:00~20:00 사이에 가장 많이 이동하는 것으로 확인되었다($180.60 \pm 51.04\text{m}$).

비번식기 하늘다람쥐 수컷은 암컷보다 한시간 이른 17:00부터 이동을 시작하였다. 그리고 다음날 07:00 이후에는 수컷과 암컷 모두 동일한 위치에서 추적되어 이동하지 않는 것으로 확인되었다(Fig. 4-10). 수컷은 번식기와 마찬가지로 이동을 시작한 직후인 17:00~18:00 사이에 이동거리가 가장 크게 나타났으며($251.33 \pm 96.50\text{m}$), 암컷은 20:00~21:00에 가장 많이 이동하였다($342.00 \pm 83.75\text{m}$).

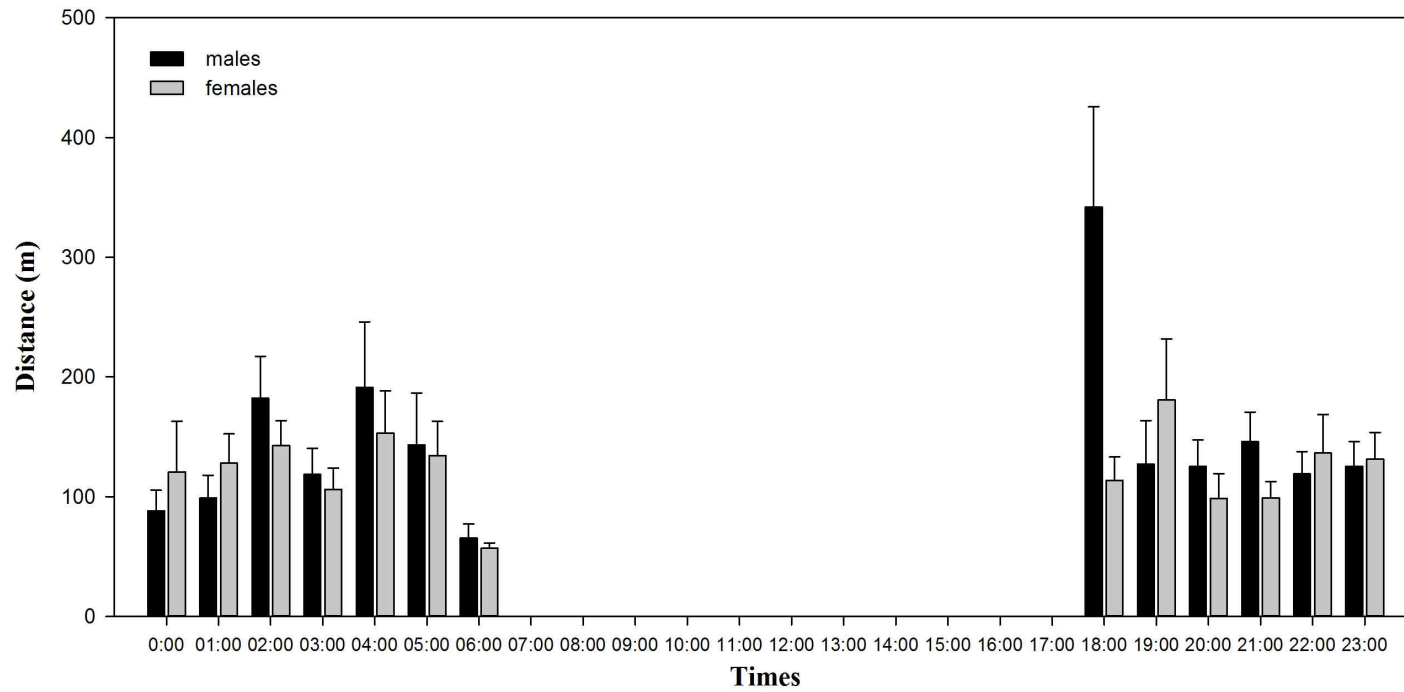


Fig. 4-9. Daily movements of Siberian flying squirrel during breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

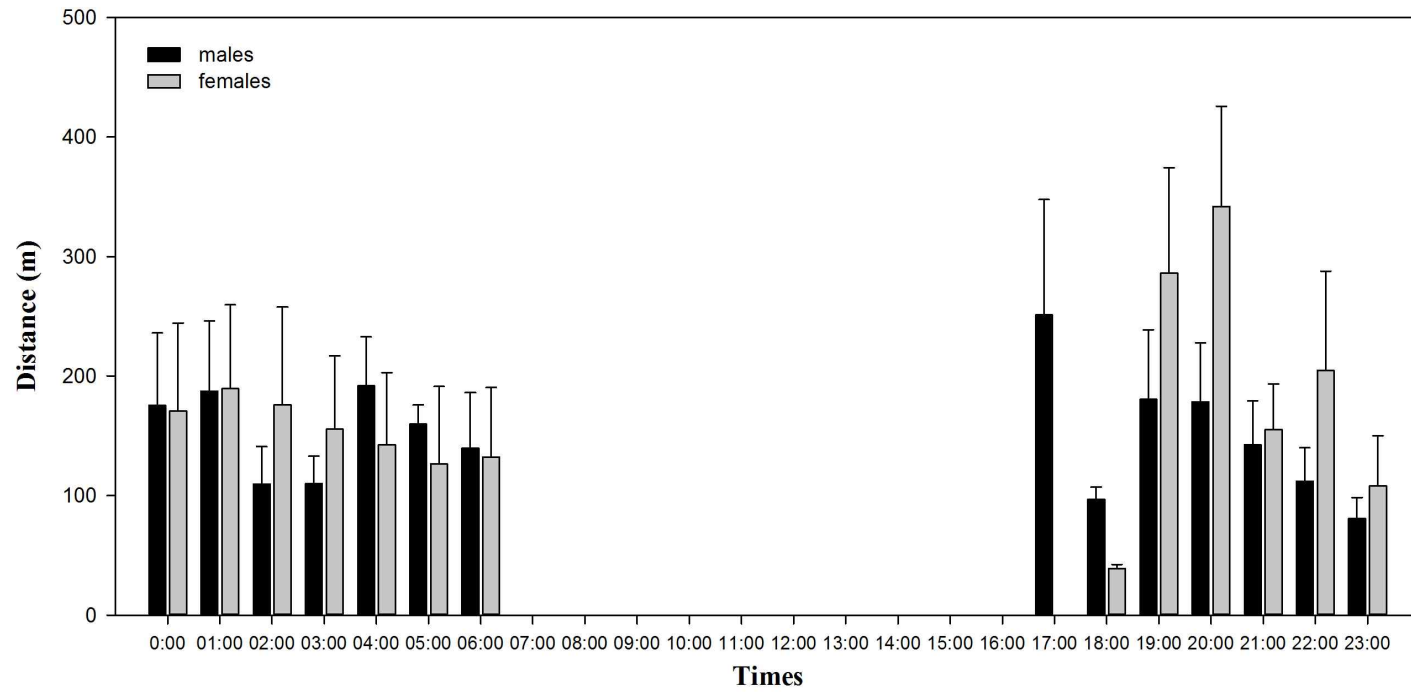


Fig. 4-10. Daily movements of Siberian flying squirrel during non-breeding season of 2015 and 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

5. 서식지 이용

하늘다람쥐의 서식지 이용을 파악하기 위해 행동권 내 735개 지점의 좌표에 대한 지형적 특성을 도출하였다. 그 결과, 하늘다람쥐는 고도가 $434.55 \pm 59.54\text{m}$ 인 곳과 경사도는 $25.06 \pm 11.07^\circ$, 사면향은 $184.14 \pm 113.72^\circ$, 수계로부터의 거리가 $65.73 \pm 73.16\text{m}$ 인 곳을 이용하는 것으로 확인되었다(Table 4-20). 하늘다람쥐가 이용한 산림환경 특성을 분석한 결과, 활엽수림(54.37%)의 이용이 가장 높게 나타났다. 다음으로 침엽수림(29.85%)과 혼효림(15.78%) 순서로 이용하는 것으로 확인되었다(Fig. 4-11).

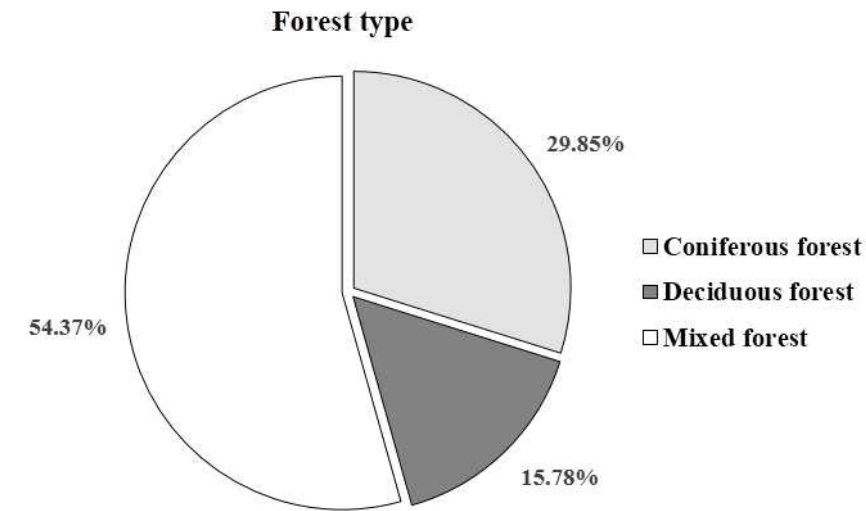
하늘다람쥐의 행동권 내 수목의 영급별 이용을 분석한 결과, 4영급(40.68%)을 가장 많이 이용하는 것으로 나타났다. 다음으로 3영급(29.86%)과 5영급(24.64%), 6영급(4.82%) 순으로 이용하는 것으로 확인되었다. 또한 하늘다람쥐는 중경목(54.37%)을 가장 많이 이용하는 것으로 나타났으며, 다음으로 대경목(29.85%)와 소경목(15.78%)을 이용하였다. 그리고 수관밀도가 밀한 임분(59.32%)을 서식지로 많이 이용하는 것으로 확인되었다(Fig. 4-11).

Table 4-20. Topographic characteristics within home range of Siberian flying squirrel from Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea

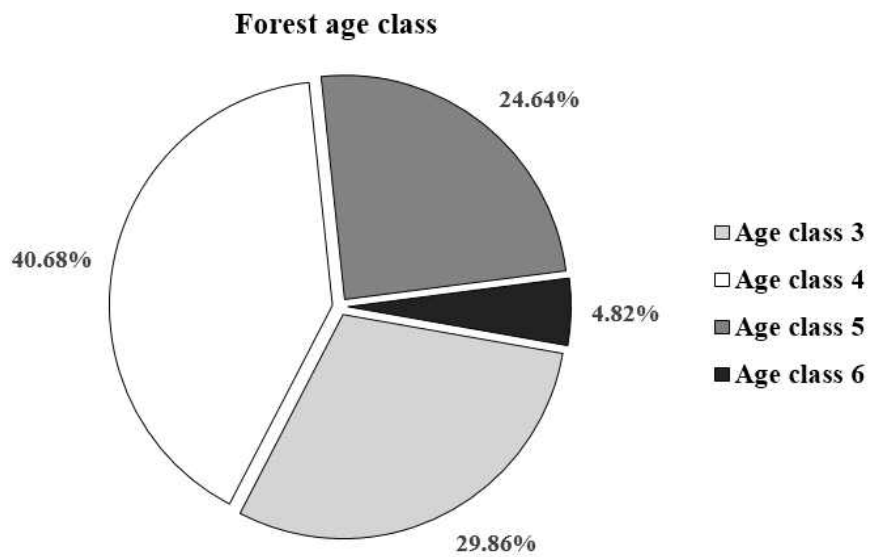
Environmental factors	Values	Range
Elevation (m)	434.55±59.54 ^a	347.00–731.00
Slope (°)	25.06±11.07	1.01–48.86
Aspect (°)	184.14±113.72	2.73–359.09
Distance from stream (m)	65.73±73.16	10.00–629.37

^a mean±SE

^b Diameter at breast height

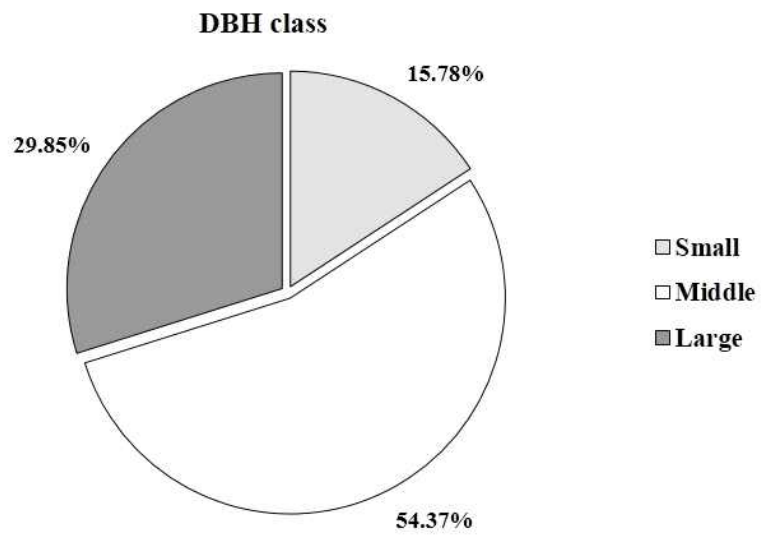


(a)

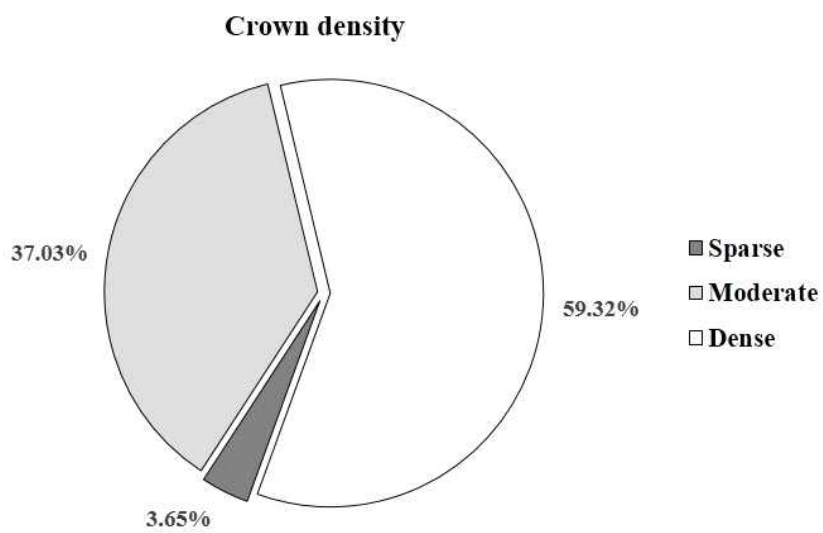


(b)

Fig. 4-11. Forest environmental characteristics (a) forest type, (b) forest age class, (c) DBH class, and (d) crown density within home range of Siberian flying squirrel from Feb. 2015 to Jun. 2016 in Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea



(c)



(d)

Fig. 4-11. Continued

IV. 고찰

야생동물의 행동권 추정을 통한 이동특성 및 공간분포를 이해하는 것은 대상종의 분포와 밀도, 서식지 이용을 파악하고 종과 서식지를 보호하고 관리하는데 있어 중요하다(Worton 1989, Vieira *et al.* 2005). 하늘다람쥐에게 전파발신기를 부착하고 무선위치추적을 실시한 결과, 행동권은 $15.12 \pm 3.18\text{ha}$ 로 나타났고 핵심서식지는 $2.75 \pm 1.04\text{ha}$ 로 확인되었다. 이는 국내 서식하는 교목성 다람쥐인 청설모의 행동권(6.90ha , 유 2011)보다 2배 이상 큰 것으로 파악되었다. 날다람쥐류는 크기가 비슷한 다른 포유류에 비해 행동권 크기가 큰 것으로 알려져 있다(Swilhart *et al.* 1988). 그러므로 이러한 결과는 활공을 통해 이동하는 하늘다람쥐의 특성에 따라 행동권이 넓게 나타난 것으로 판단된다.

행동권은 종마다 다르며, 동일 종 내에서도 지역에 따라 다르게 나타나기도 한다(Knowlton and Graham 2010). 핀란드 지역의 하늘다람쥐 행동권($8.30 \sim 59.90\text{ha}$)은 북미에 서식하는 *G. volans* (9.90ha)와 *G. sabrinus* (3.70ha)보다 넓은 것으로 보고되었다(Witt 1992, Hanski 1998, Mäkeläinen *et al.* 2016). 국내 하늘다람쥐의 행동권 역시 북미 지역의 날다람쥐보다 크게 확인되었으나, 핀란드에 서식하는 하늘다람쥐보다는 작게 나타났다. 핀란드 지역에 서식하는 하늘다람쥐는 주로 침엽수를 둥지로 주로 이용하고 먹이활동은 구주사시나무(*Populus tremula*) 및 자작나무(*Betula pendula*)와 같은 활엽수림을 이용하는 것으로 확인되었다(Hurme *et al.* 2005). 핀란드에서 서식환경이 다른 지역의 행동권 크기를 각각 파악한 결과, 지역에 따라 행동권 크기가 다르게 나타나는 것으로 확인되었다(Hurme *et al.* 2005). 활엽수림 비율이 낮은 지역의 행동

권 크기가 더 크게 나타났으며, 이는 먹이활동을 위한 이동거리 차이에 따른 것으로 보고되었다(Hurme *et al.* 2007). 그리고 우리나라와 같은 온대 지역은 핀란드와 같은 고위도의 아한대 지역에 비해 활엽수림과 혼효림이 우점하는 것으로 알려져 있다(Snyder *et al.* 2004). 이에 따라 핀란드와 국내에 서식하는 하늘다람쥐의 행동권 차이는 활엽수림의 비율에 따른 것으로 추정되나 본 연구에서는 정확히 확인되지 않았다. 추후 임상에 따른 가용먹이자원과 서식환경 구조에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

하늘다람쥐의 번식체계(mating system)는 복혼성(polygamy)으로 알려져 있으며, 번식기 수컷은 번식성공을 위해 서로 경쟁한다(Greenwood 1980). 시기별 하늘다람쥐의 행동권 크기를 비교한 결과, 번식기의 행동권과 핵심서식지의 크기는 비번식기보다 크게 나타났다. 이는 상대적으로 많은 암컷과의 짝짓기를 위하여 번식기 하늘다람쥐 수컷의 탐색과 이동이 증가하여 나타는 것으로 생각된다(Selonen *et al.* 2016). 핀란드에서 하늘다람쥐를 대상으로 수행된 연구 결과에서도 번식기 행동권이 비번식기보다 큰 것으로 보고되었다(Selonen *et al.* 2013). 행동권은 시기별 기온과 먹이자원에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Bubela *et al.* 1991, Wauters *et al.* 1995). 이에 따라 몇몇 종은 에너지 절약을 위한 전략으로 동면(hibernation)을 취한다(Hut *et al.* 2002). 그러나 하늘다람쥐는 동면을 취하지 않고 이동성을 줄이고 둥지에서 체온을 유지하는 것으로 보고되었다(Hanski 1998, Asari and Yanagawa 2016). 이와 같이 국내 하늘다람쥐의 시기별 행동권 크기는 번식활동에 따른 행동권 증가에 따라 차이가 나타나는 것으로 추정된다.

하늘다람쥐의 성별에 따른 행동권 크기 차이를 비교한 결과, 상대적으로 수컷의 행동권이 암컷에 비해 넓게 나타났으나 유의한 차이를 보이지

않았다. 하늘다람쥐 암컷의 밀도는 번식을 위한 둥지자원의 유무에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Hanski *et al.* 2000). 그리고 수컷 하늘다람쥐의 행동권은 암컷의 밀도에 영향을 받으며, 암컷 밀도가 높은 지역의 행동권 크기는 낮은 지역보다 작은 것으로 보고되었다(Selonen *et al.* 2016). 이와 같은 결과는 우리나라와 기후가 비슷한 미국의 노스캐롤라이나 지역에서 *G. sabrinus*을 대상으로 수행된 연구 결과에서도 유사하게 나타났다(Markford *et al.* 2014). 본 연구에서는 인공둥지의 제공에 따라 암컷 간 경쟁이 적었을 것으로 보이며, 이에 따라 암컷의 밀도가 상대적으로 높을 것으로 추정된다. 따라서 성별에 따른 행동권 크기의 차이가 유의하게 나타나지 않은 것으로 생각된다.

하늘다람쥐의 행동권은 번식기에 개체 간 높은 비율로 중첩되는 것으로 확인되었다. 번식기에는 번식활동에 따른 하늘다람쥐의 활동성 증가와 개체 간 경쟁으로 인하여 행동권 중첩이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(Hoset *et al.* 2007). 교목성 다람쥐인 *T. sibiricus*와 날다람쥐인 *G. sabrinus*의 행동권 중첩 또한 번식기에 훨씬 높은 것으로 보고되었다(Holloway and Malcolm 2007, Marmet *et al.* 2009). 또한 서식지의 질이 높거나 낮은 지역에서는 경쟁에 따라 개체 간 행동권 중첩이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(Maher 2000). 본 연구대상지는 활엽수림과 혼효림으로 가용먹이자원이 풍부하고, 인공둥지 제공으로 인한 둥지자원 또한 많은 것으로 추정된다(Wauters *et al.* 2001). 이러한 환경에서는 배타적으로 세력권을 방어하거나 경쟁하기보다 먹이나 둥지 등을 다시 찾는 것이 효율적인 것으로 보고되었다(McCloughlin *et al.* 2000). 따라서 백운산에 서식하는 하늘다람쥐는 번식활동에 따른 행동권 증가와 서식환경에 따른 차이 등의 요인으로 인하여 행동권 중첩이 높게 나타난 것으로 추정된다.

하늘다람쥐의 일일 행동을 파악한 결과 모두 야간에 이동을 한 것으로 나타나 야행성인 것으로 판단된다. 시기별 이동 시간대 차이를 분석한 결과 번식기와 비번식기 암컷의 이동 시간대는 비슷한 것으로 확인되었고, 수컷은 비번식기에 번식기보다 1시간 일찍 이동을 시작하였으며, 이는 일몰 시간에 따른 것으로 생각된다(Halle and Stenseth 2012).

무선위치추적으로 도출된 좌표를 통해 백운산에 서식하는 하늘다람쥐의 서식지 이용특성을 분석한 결과, 활엽수림의 비율이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 침엽수림과 혼효림 순으로 확인되어 활엽수림을 선호하는 것으로 생각된다. 이는 활엽수림에서 주로 먹이활동을 하는 하늘다람쥐의 특성에 따른 것으로 판단된다(Hurme *et al.* 2005). 그리고 행동권 내 4영급의 임분과 중경목의 이용이 높게 확인되어 백운산에 서식하는 하늘다람쥐는 성숙림을 선호하는 것으로 판단된다(Airapetyants and Fokin 2003, Kadoya *et al.* 2010). 또한 수관밀도가 울폐된 산림의 이용이 높게 나타났으며, 이는 포식자로부터의 회피와 안전을 확보하기 위한 것으로 판단된다(Desrochers *et al.* 2003).

제5장 외부기생충

I. 서론

숙주와 기생충의 관계에 대한 연구는 숙주의 기생충에 대한 방어와 기생충의 숙주 선택에 대한 진화적 메커니즘의 이해를 위해서 중요하다(Krasnov 2008). 외부기생충은 작은 크기에도 불구하고 숙주 몸의 기능을 방해하여 이동, 번식, 생존 등에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Walter and Proctor 1999, Khokhlova *et al.* 2002). 또한 숙주의 체중을 감소시키고 면역력을 저하시키며, 심할 경우 사망에 이르게 한다(Eisen and Gage 2012, Eads and Hoogland 2016). 이러한 외부기생충 감염 정도는 숙주의 성별과 활동성, 몸의 크기 등에 따라 다르게 나타난다(Schalk and Forbes 1997, Rifkin *et al.* 2012). 이와 관련하여 다음 3가지의 가설은 숙주와 외부기생충의 상호관계에 대한 진화적 메커니즘을 잘 설명해 주고 있다(Morand *et al.* 2006).

첫 번째는 행동권이 넓은 숙주에게 기생충 감염이 높게 나타난다는 가설이다. 외부기생충은 숙주를 통해 이동하며, 진화적으로 넓게 분산하고자 하는 기작이 있다(Christe *et al.* 2012). 일반적으로 포유류는 수컷이 암컷보다 활동적이고 행동권 및 세련권의 크기가 큰 것으로 보고되었다(Burt 1943). 또한 수컷에서 분비되는 테스토스테론(testosterone)은 면역억제를 일으키고 기생충 감염에 대한 저항성을 감소시킨다(Zuk and McKean 1996). 따라서 수컷이 암컷보다 기생충 감염에 취약한 것으로 알려져 있다(Waterman *et al.* 2013). 이와 같이 기생충은 숙주의 활동성에 따라 행동권이 큰 숙주를 선택하는 쪽으로 진화된 것으로 생각된다. 이러한 결과는 북미에 서식하는 날다람쥐인 *G. sabrinus*를 대상으로 수행한 연구에서도 암컷보다 행동권이 큰 수컷의 기생충 감염이 높은 것으

로 나타났다(Perez-Orella and Schulte-Hostedde 2005).

두 번째는 건강도가 낮은 숙주의 기생충 감염이 높게 나타난다는 가설이다. 숙주의 건강도와 면역력은 밀접한 관계가 있으며, 건강도가 떨어지는 개체는 면역력이 저하되는 것으로 알려져 있다(Whiteman and Parker 2004, Waterman *et al.* 2013). 따라서 건강도가 낮은 개체는 높은 개체보다 기생충에 감염되기 쉬운 것으로 보고되었다(Whiteman and Parker 2004, Tompkins *et al.* 2011). 그러나 야외조사에서 개체의 면역력을 정량화 하는 것은 어렵기 때문에 개체의 건강도를 대변할 수 있는 변수로 체중이 빈번히 이용되어 왔다(Toïgo *et al.* 2006). 아프리카에 서식하는 영장류인 *Procolobus badius*를 대상으로 체중에 따른 기생충 감염에 대한 연구를 수행한 결과, 평균 체중이 많이 나가는 개체군의 기생충 감염이 적은 것으로 나타났다(Chapman *et al.* 2006).

세 번째는 서식지가 넓을수록 외부기생충 감염이 높게 나타난다는 가설이다. 숙주의 몸은 외부기생충의 서식지이며, 몸의 크기가 클수록 더 많은 자원(영양분, 공간)을 제공할 수 있다(Hawlena *et al.* 2005). 따라서 몸의 크기가 큰 개체일수록 외부기생충에 감염될 확률이 높은 것으로 보고되었다(Moore and Wilson 2002). 또한 몸 크기가 다른 개체에 동일한 수의 기생충이 감염되면 작은 개체는 상대적으로 더 많은 비율의 혈액을 빼앗긴다. 이에 따라 몸 크기가 작은 개체는 큰 개체보다 상대적으로 빈번하게 털손질 행동을 하는 것으로 확인되었다(Harrison *et al.* 2010). 이와 같이 외부기생충이 몸의 크기가 큰 숙주를 선호한다는 연구 결과는 설치류와 유제류 등 다양한 분류군에서 보고되었다(Mooring *et al.* 1998, Krasnov and Khokhlova 2003).

숙주의 외부기생충 감염과 관계에 대한 연구는 오래전부터 다양하게

수행되어 왔다. 그러나 하늘다람쥐는 외부기생충 현황에 대한 연구만 보고되었을 뿐 외부기생충 감염에 영향을 미치는 요인과 숙주와의 관계는 정확하게 알려지지 않았다(Haukisalmi and Hanski 2007). 따라서 본 연구의 목적은 하늘다람쥐와 외부기생충의 상호관계가 어떤 방향으로 선택하고 진화하였는지 구명하는 것이다. 이를 위해 국내 하늘다람쥐의 외부기생충 현황을 파악하고 기생충 감염에 영향을 미치는 요인에 대하여 파악하였다.

II. 연구방법

1. 외부기생충 채집

하늘다람쥐 기생충 채집은 개체의 스트레스를 고려하여 비교적 채집이 용이한 벼룩을 중심으로 이루어졌다. 인공둥지 모니터링을 통해 포획된 하늘다람쥐에 대해 외부형태를 측정한 후 벼룩빗(flea comb)을 이용하여 외부기생충을 채집하였다. 채집 시 머리와 턱, 등, 배, 꼬리윗면, 꼬리아랫면 등을 각 10회씩 빗질하여 채집되는 외부기생충의 수를 정량화하였다(Perez-Orella and Schulte-Hostedde 2005). 채집된 벼룩은 70% 에탄올(EtOH)에 넣어 냉동 보관하였다. 하늘다람쥐 각 개체에서 채집된 벼룩수를 확인하여 야장에 기록하였다. 하늘다람쥐에서 채집된 벼룩 표본은 충북대학교 수의과대학의 기생충학연구실에서 동정하였다.

2. 자료 분석

숙주인 하늘다람쥐와 기생하는 벼룩의 관계 파악하기 위해 아래에 설명하는 변수들로 선형회귀분석(linear regression analysis)을 실시하였다($y=a+bx$, y : 종속변수, x : 독립변수, a : y 절편, b : 기울기). 이를 통해 숙주와 기생충에 대한 3가지 가설에 대해 검증 하였다.

첫 번째 가설은 숙주의 행동권이 클수록 감염 벼룩수가 높게 나타난다는 가설이다. 이 가설을 설명하기 위하여 다음과 같은 모델을 만들었다($y=a+bx_1$). 수컷과 암컷은 행동권 크기 차이가 있기 때문에 성별을 독립변수 x_1 로 설정하고 벼룩수를 종속변수 y 로 지정하였다. 성별은 범주형 이므로 가변수(dummy variable)로 설정하고 수컷일 경우 $x_1=0$, 암컷은 $x_1=1$ 로 지정하여 분석하였다. 그리고 기울기(b) 값이 음수로 확인되면 가설이 검증된 것으로 판단하였다.

두 번째 가설은 건강도가 낮은 숙주의 기생충 감염이 높게 나타난다는 가설이다. 이 가설을 설명하기 위하여 다음과 같은 모델을 만들었다($y=a+bx_2$). 숙주 건강도를 대변할 수 있는 체중을 독립변수 x_2 로 설정하고 벼룩수를 종속변수 y 로 지정하여 분석하였다. 이에 대한 검증은 기울기(b) 값이 음수로 확인되면 가설이 검증된 것으로 판단하였다.

세 번째 가설은 서식지가 넓을수록 외부기생충 감염이 높게 나타난다는 가설이다. 이 가설을 설명하기 위하여 다음과 같은 모델을 만들었다($y=a+bx_2$). 이를 위해 몸 크기를 대변할 수 있는 체중을 독립변수 x_2 로 설정하고 벼룩수를 종속변수 y 로 지정하여 분석하였다. 이에 대한 검증은 기울기(b) 값이 양수로 확인되면 가설이 검증된 것으로 판단하였다.

또한 성별과 체중을 모두 독립변수로 설정하고 감염 벼룩수에 대하여 분석하였다($y=a+b_1x_1+b_2x_2$). 이를 통해 어떠한 변수가 기생충 감염에 영

향을 미치는지 파악하였다. 그리고 도출된 모델의 아카이케 정보량 기준 값(Akaike's Information Criterion: AIC)을 비교하였다. 이를 바탕으로 낮은 AIC값과 높은 모델가중치(model weight: w_i)를 나타내는 모델을 최적 모델로 선정하였다(Burnham and Anderson 2002).

Ⅲ. 연구결과

본 연구를 통해 하늘다람쥐 성체 51마리(수컷 32마리, 암컷 19마리)에서 총 184마리의 벼룩을 채집하였다. 하늘다람쥐에 기생하는 벼룩은 1종으로 확인되었으며, 1마리당 3.43 ± 1.98 마리의 벼룩이 발견되었다. 기생하고 있는 벼룩을 동정한 결과 다람쥐벼룩(*Ceratophyllus (Monopsyllus) indages*)으로 확인되었다(Choe *et al.* 2016, Fig. 5-1).

하늘다람쥐의 성별과 벼룩수의 관계를 파악하기 위해 선형회귀분석을 실시한 결과, 성별에 따라 관찰된 다람쥐벼룩은 수컷에 4.13 ± 2.74 마리, 암컷에 2.74 ± 1.28 마리로 확인되어 하늘다람쥐 수컷에 더 많은 다람쥐벼룩이 기생하는 것으로 나타났다(linear regression analysis, $y = 5.51 - 1.39x_1$, $R^2 = 0.06$, $p = 0.04$, Fig. 5-2, Table 5-1).

하늘다람쥐의 체중과 벼룩수의 관계를 분석한 결과, 체중과 감염 벼룩수는 음의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 5-3). 따라서 하늘다람쥐의 체중이 적을수록 감염 다람쥐벼룩수가 많은 것으로 확인되었다($y = 15.24 - 0.11x_2$, $R^2 = 0.39$, $p < 0.01$, Table 5-1). 이와 같은 결과는 하늘다람쥐 수컷의 체중과 벼룩수($r = -0.75$, $p < 0.01$)와 암컷의 체중과 벼룩수($r = -0.62$, $p = 0.04$)에서도 동일하게 나타났다.

하늘다람쥐의 성별과 체중을 함께 변수로 포함시켜 선형회귀분석을 실시한 결과, 성별과 체중에 따른 감염 다람쥐벼룩수는 음의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다($y = 15.91 - 0.89x_1 - 0.11x_2$, $R^2 = 0.41$, $p < 0.01$, Fig. 5-4, Table 5-1). 따라서 체중이 적게나가는 하늘다람쥐 수컷일수록 기생하는 벼룩수가 많은 것으로 확인되었다.

도출된 3가지 모델 중 최적모델을 선정하기 위하여 AIC값을 비교한 결과, 성별과 체중을 모두 변수로 포함한 1번 모델이 가장 높게 나타났다(AIC=65.06, Table 5-1). 다음으로 체중을 변수로 포함한 2번 모델(AIC=65.90)과 성별을 변수로 포함한 3번 모델(AIC=87.69) 순서대로 확인되었다. 이를 바탕으로 Δ AIC의 값을 비교한 결과, 1번 모델과 2번 모델은 0.84 차이가 나타났다. 그리고 1번 모델과 3번 모델의 Δ AIC의 값은 22.63으로 큰 차이가 확인되었다. 따라서 AIC값이 가장 낮게 확인된 성별과 체중을 모두 변수로 포함한 모델 1번이 하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 관계를 가장 잘 설명할 수 있는 최적모델로 선정되었다.

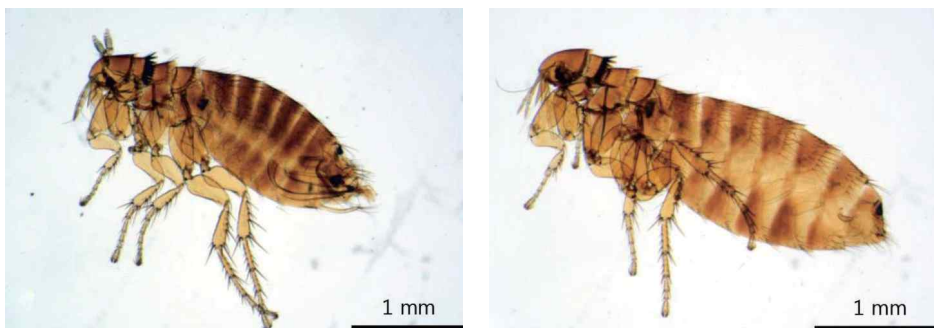


Fig. 5-1. *Ceratophyllus (Monopsyllus) indages* collected from Siberian flying squirrel (Choe *et al.* 2016, left: male, right: female, Choe *et al.* 2016)

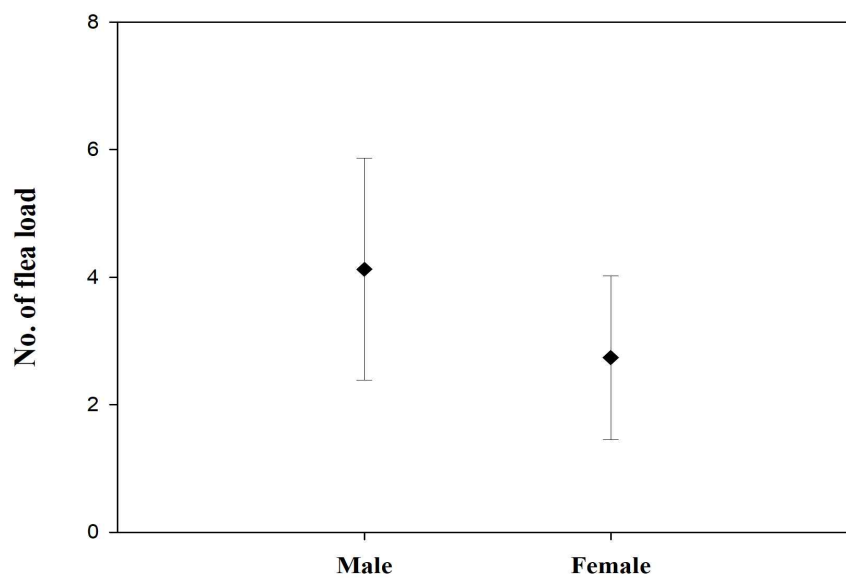


Fig. 5-2. Difference in flea load of Siberian flying squirrel between males and females

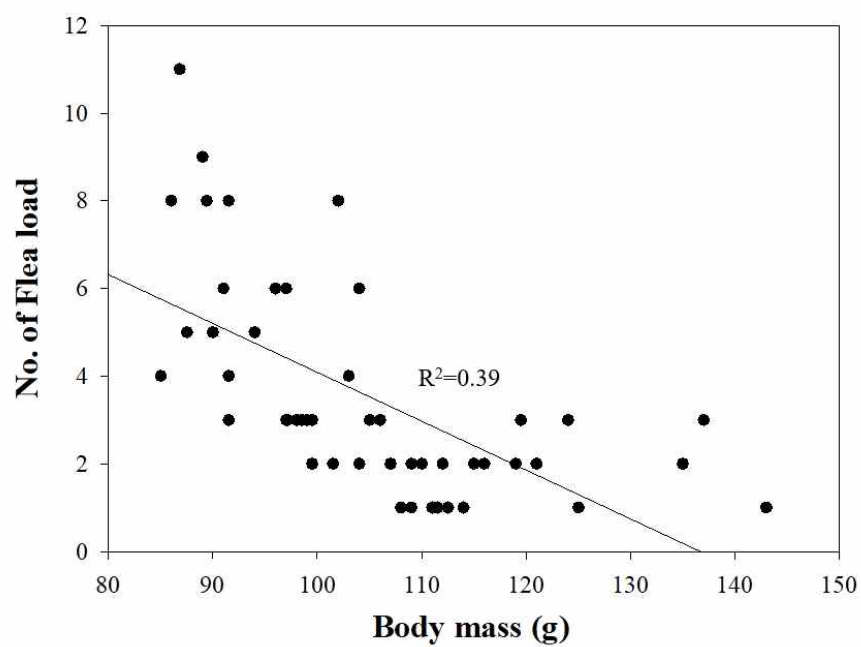


Fig. 5-3. Negative correlation between body mass and number of flea load in Siberian flying squirrel

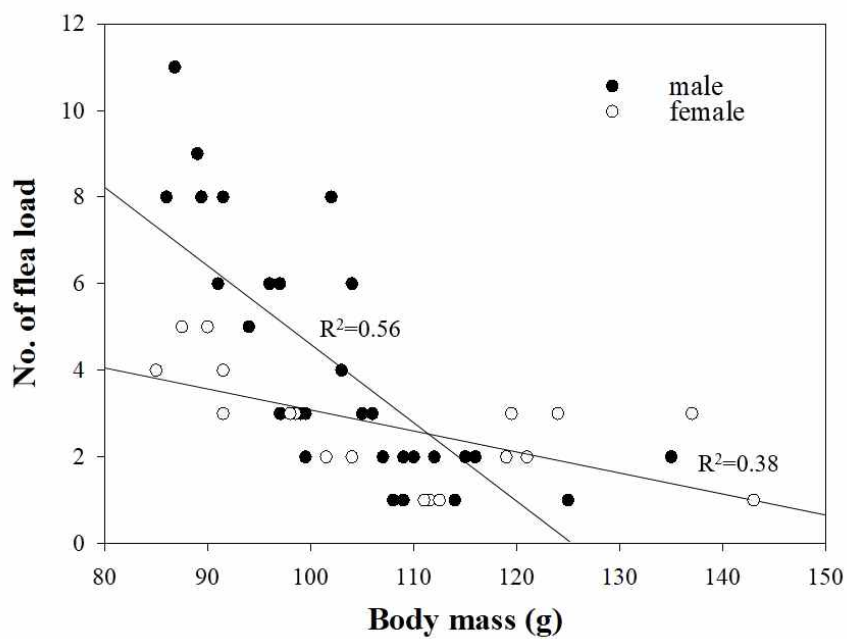


Fig. 5-4. Negative correlation between body mass and number of flea load in male and female Siberian flying squirrel

Table 5-1. Model selection among results of linear regression between variables and flea load in Siberian flying squirrel

Model no.	Variables	Coefficients	T	p	R ²	AIC ^a	△AIC ^b	w _i ^c
1	Intercept	15.91	7.74	<0.01	0.41	65.06	0.00	0.60
	Sex	-0.89	-1.66					
	Body mass	-0.11	-5.46					
2	Intercept	15.24	7.43	<0.01	0.39	65.90	0.84	0.40
	Body mass	-0.11	-5.72					
3	Intercept	5.51	5.64	0.04	0.06	87.69	22.63	0.00
	Sex	-1.39	-2.07					

^a Akaike's Information Criteria

^b Difference between the AIC of the best fitting model and that of each model Intercept

^c Akaike weight of each model

Comparisons between sex, body mass and number of flea load based on a linear regression analysis

IV. 고찰

하늘다람쥐의 외부기생충 감염 확인을 위하여 벼룩을 채집한 결과 다람쥐벼룩(*Ceratophyllus (Monopsyllus) indages*)으로 확인되었다. 다람쥐벼룩은 1908년 북해도에서 처음 발견되었으며(Rothschild 1908), 주로 하늘다람쥐에 기생하는 것으로 알려져 있다(Traub *et al.* 1983). 국내에는 청설모와 다람쥐에서 처음 확인되었으며(Tipton *et al.* 1972), 국내에서 다람쥐벼룩이 하늘다람쥐를 숙주로 삼는 것은 본 연구에서 처음으로 발견하였다. 벼룩은 사람을 비롯한 다양한 동물에 쉽게 적응하여 기생하는 것으로 알려져 있다(Franklin and Brown 1994). 아직 다람쥐벼룩에게서 전과 가능한 특별한 질병은 보고되지 않았다(Choe *et al.* 2016). 그러나 벼룩과 진드기와 같은 절지동물은 질병을 매개하는 것으로 알려져 있어 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다(Kim *et al.* 2013).

하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 관계는 성별에 영향을 받는 것으로 확인되었으며, 수컷에게 다람쥐벼룩이 더 많이 발견되었다. 이러한 결과는 다람쥐벼룩이 행동권이 넓은 숙주를 선호하는 것으로 생각된다. 하늘다람쥐 수컷의 행동권은 암컷보다 넓은 것으로 알려져 있다(Hanski *et al.* 2000, Selonen *et al.* 2013). 기생충은 넓게 분산하려는 기작(mechanism)이 있기 때문에 암컷보다 행동권이 넓은 수컷을 숙주로 선호한다고 알려져 있다(Pung *et al.* 2000). 이와 같은 결과는 하늘다람쥐와 생태적 특성이 비슷한 날다람쥐에서도 수컷의 기생충 감염이 높게 나타나는 것으로 확인되었다(Perez-Orella and Schulte-Hostedde 2005). 따라서 다람쥐벼룩은 숙주의 행동권 크기에 따라 숙주를 선택하며 진화한 것으로 생각된다.

하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 관계는 체중에 영향을 받는 것으로 확인

되었으며, 체중이 적은 개체에 감염 벼룩수가 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 다람쥐벼룩이 건강도가 낮은 숙주를 선호하는 것으로 생각된다. 숙주의 건강도가 떨어지게 되면 면역체계에도 문제가 발생하여 면역력도 함께 낮아진다(Chapman *et al.* 2006). 이에 따라 건강도가 낮은 개체는 상대적으로 기생충에 감염되기 쉬운 것으로 보고되었다(Tompkins *et al.* 2011). 일본에서 교목성 다람쥐인 *Callosciurus erythraeus*를 대상으로 수행한 연구결과 역시 체중이 적게 나가는 개체의 기생충 감염이 높은 것으로 확인되었다(Shinozaki *et al.* 2004). 이와 같이 다람쥐벼룩은 숙주의 건강도에 따라 숙주를 선택하며 진화한 것으로 생각된다.

반면에 하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 관계는 체중에 영향을 받는 것으로 확인되었나, 체중이 증가할수록 벼룩수는 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 다람쥐벼룩이 몸 크기가 큰 숙주를 특별히 선호하지 않는 것으로 생각된다. 몸 크기가 큰 숙주는 가용자원이 많아 기생충에 감염될 확률이 높다는 연구결과가 보고되었으나(Hawlena *et al.* 2005), 본 연구에서는 확인되지 않았다. 따라서 다람쥐벼룩은 서식지 크기에 따라 숙주를 선택하는 것과는 무관한 것으로 보여진다.

야생동물은 기후, 서식환경 등의 요인에 따라 형태 및 생태적 특성이 진화되어 왔다. 야생동물을 숙주로 삼는 외부기생충 또한 이에 맞게끔 진화하여 왔다(Marshall 1981). 하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 진화적 관계는 성별과 체중에 모두 영향을 받는 것으로 보여진다. 날다람쥐인 *G. sabrinus*의 연구결과, 체중이 적은 수컷에게 외부기생충이 감염이 높게 확인되어 본 연구 결과와 유사하게 나타났다(Perez-Orella and Schulte-Hostedde 2005). 따라서 다람쥐벼룩은 체중이 적은 하늘다람쥐 수컷을 선호하는 것으로 생각된다. 이와 같이 하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 상호관계는 숙주의 활동성 및 행동권 크기와 연관하여 진화한 것으로 판단된다.

제6장 유전 다양성 및 구조

I. 서론

종의 보호와 보전을 위해서는 해당 종의 유전적 분화와 유전 다양성 및 구조에 대한 파악이 매우 중요하다(Hillis *et al.* 1996, Frankham *et al.* 2002). 유전학적 연구를 통하여 해당 종의 유전자의 지역적 손실과 단절, 고립, 분화 등을 확인할 수 있다(Avise 1994). 이러한 유전적 정보를 바탕으로 종 이하의 아종이나 개체군 수준의 집단을 구분하고, 진화적 유의단위(evolutionary significant unit: ESU) 및 관리 단위(management unit: MU) 등의 보전 단위를 설정할 수 있다(Moritz 1994, Palsbøll *et al.* 2007). 옳지 않은 보전 단위를 통한 보전 및 복원은 해당 종의 환경에 대한 적응력 감소를 야기하는 등 멸종위험을 증가 시킬 수 있으므로 정확한 결과를 바탕으로 보전 단위 설정이 필요하다(Edmands 2007).

국내에서 멸종위기종의 유전적 특성을 확보하고 보전 단위를 설정하여 적용한 대표적인 사례로는 반달가슴곰 복원사업이 있다. 반달가슴곰은 국내에서 심각한 멸종위기에 처해 있으며, 유전적 특성을 이용한 계통분석 결과 중국 동북부 지역과 러시아의 연해주 지역과 같은 진화적 유의단위(ESU)인 우수리아종으로 확인되었다(홍 2005). 이에 따라 2004년부터 러시아와 중국, 북한으로부터 국내와 같은 진화적 유의단위(ESU)인 반달가슴곰을 도입하여 지리산 국립공원에서 복원사업을 진행하고 있다(Kim *et al.* 2011). 반달가슴곰 복원사업은 현재까지 개체군 크기를 일정 수준 회복시켰고, 야생에서 3세대까지 번식이 확인되는 등 성공적인 복원사업으로 평가받고 있다(이 2013). 이와 같이 유전적 특성 확인을 통한 명확한 보전 단위의 설정은 효과적인 보전 전략 수립을 위해 반드시 필요하다(Michaux *et al.* 2004).

하늘다람쥐 또한 국내에서 멸종위기야생생물 II급과 천연기념물 제

328호로 지정하여 보호받고 있다(환경부 2012). 그러나 하늘다람쥐의 유전학적 특성에 관한 연구는 아직까지 부족한 실정이다. 유라시아 지역에 분포하는 하늘다람쥐의 계통 유연관계에 대한 연구가 보고되었으나, 국내 하늘다람쥐 개체군은 포함되지 않았다(Oshida *et al.* 2005). 그리고 국내 개체군을 포함한 연구(Lee *et al.* 2008)와 러시아 우랄산맥 지역 개체군 샘플을 추가한 연구가 수행되었다(Yalkovskaya *et al.* 2015). 그 결과, 유라시아 지역의 하늘다람쥐는 계통적으로 극동 지역과 북유라시아 지역, 북해도 지역으로 구분되는 것으로 나타났다. 하지만 이와 같은 기존연구는 샘플 수 및 지역의 부족으로 국내 하늘다람쥐의 유전적 특성 및 소개체군은 정확하게 확인되지 않았다(Lee *et al.* 2008).

국내 하늘다람쥐가 심각한 멸종위기에 직면해 있는지는 정확하게 확인되지 않았고 하늘다람쥐의 유전적 특성에 대한 정보 또한 매우 부족한 실정이다. 최근 들어 종의 보전 및 관리계획 수립 시 개체 및 서식지의 보호와 더불어 유전 다양성도 함께 유지해야 한다고 보고되었다(Hoban *et al.* 2013). 따라서 하늘다람쥐의 유전 다양성과 지역 개체군의 유전 구조에 대한 파악은 멸종위기종인 하늘다람쥐의 보전 단위 설정 및 검토를 위해서 반드시 필요하다(Bottin *et al.* 2007). 이를 바탕으로 추후 멸종위기에 따른 재도입(reintroduction) 시 하늘다람쥐의 계통 선정 등 구체적인 복원 계획을 수립할 수 있다(Frankham *et al.* 2017).

본 연구의 목적은 국내 하늘다람쥐의 유전 다양성과 지역 개체군의 유전구조를 구명하고 보전 단위 설정을 검토하기 위해 실시하였다. 이를 위해 국내 하늘다람쥐의 지역개체군들의 유전 구조를 살펴보고 진화적 유의단위(ESU)와 관리 단위(MU)를 검토 하였다. 또한 하늘다람쥐의 유전 다양성을 파악하여 다른 멸종위기종 및 일반종과 비교하여 하늘다람쥐의 보전 지위를 확인하였다.

II. 연구방법

1. 샘플 수집

분석에 필요한 하늘다람쥐 유전자 샘플은 하늘다람쥐의 인공둥지 이용을 모니터링하면서 수집하였다. 샘플 수집 시 샘플이 오염되지 않게 털(hair), 혈액(blood), 근육조직(muscle)을 채취하였다(Table 6-1). 수집된 시료는 실험실로 운반 후 -70°C 냉동고에 보관하였다. 강원도 원주시 백운산에서 31마리, 대전광역시 보문산에서 13마리, 전라남도 광주 1마리(로드킬) 등 총 45마리의 시료를 수집하였다(Fig 6-1).

하늘다람쥐의 지역별 유전 다양성 및 구조 분석을 위해 선행연구를 통해 Genbank에 등록된 유럽과 러시아, 극동지역, 한국, 북해도를 포함하는 유라시아 지역의 하늘다람쥐 64마리의 염기서열 정보를 수집하였다(Table 6-1, Fig. 6-1, Oshida *et al.* 2000, Oshida *et al.* 2005, Lee *et al.* 2008, Yalakovskaya *et al.* 2015). 그리고 본 연구에서 수집한 45마리의 염기서열과 취합하여 총 하늘다람쥐 109마리의 염기서열 정보를 수집하였다. 이중 국내 개체군은 총 59마리의 염기서열 정보를 수집하였다.

하늘다람쥐의 샘플링 지역과 선행연구 결과를 참고하여 유라시아 지역은 우선적으로 북유라시아 지역(Northern Eurasia)과 극동 지역(Far-East), 북해도 지역(Hokkaido)의 3 지역으로 구분하였다. 3 지역은 다시 지리적으로 세분화하여 구분 하였다. 북유라시아 지역은 서북유라시아(North West Eurasia)와 동북유라시아(North East Eurasia)로 구분하였다. 극동 지역은 동부 러시아와 중국(East Russia and China)과 한

국(South Korea)으로 세분화 하고, 일본 북해도(Hokkaido)을 포함하여 5개 그룹으로 세분화하였다. 국내 개체군은 강원, 대전, 전라남도로 구분하였다. 이 중 기존에 경기도 가평과 포천에서 수집된 하늘다람쥐 샘플 2마리의 경우 경기도 동북쪽과 강원도 원주가 지리적으로 하늘다람쥐의 이동이 용이하다고 판단되어 강원 지역으로 포함시켜 분석하였다.

2. 미토콘드리아 DNA Cytochrome *b* 유전자

하늘다람쥐의 유전자 분석을 위해 DNeasy Blood and Tissue Kit (QIAGEN, Germany)을 이용하여 절차에 따라서 털과 혈액, 조직의 Genomic DNA를 분리하여 추출하였다. 추출된 DNA는 농도와 순도를 확인 후 4℃ 냉장상태에서 보관한 후 유전자 증폭에 사용하였다.

하늘다람쥐의 미토콘드리아 Cytochrome *b* DNA의 증폭을 위해 forward primer (CbM1, 5'-CTC ACA TGG AAT CTA ACC ATG AC-3')와 reverse primer (CbMR2, 5'-AGG GAA TAG TTT AAA TAG AAT TTC AGC-3')를 이용하여(Matsushashi *et al.* 1999) 중합효소연쇄반응(PCR: polymerase chain reaction)을 실시하였다. PCR 혼합물은 50 μ l로 만들어 분석하였다. genomic DNA 1.0 μ l와 3차 증류수 38.75 μ l, 10 x buffer (25mM Mgcl₂) 5.0 μ l, 각각 2.5mM dNTP 4.0 μ l, 25mM forward primer (CbM1) 0.5 μ l, 25mM reverse primer (CbMR2) 0.5 μ l, 25, 5U/ μ l의 A-Star Taq DNA polymerase 0.25 μ l를 포함하였다(Tamada *et al.* 2008). PCR 반응 주기는 최초의 변성 단계(denaturing step)를 위하여 94℃에서 3분 동안 1회 반응시키고, 반복주기로서 94℃에서 1분, 프라이머의 결합(primer annealing)을 위해 55℃에서 1분, DNA 합성을 위하여 72℃에서 1분씩 총 40회의 반복주기를 실시하였고, 최종적으로 72℃에서 10분 동안 마지막 중합반응을 실시하였다(Tamada *et al.* 2008).

PCR 산물은 0.5×TBE buffer 90ml에 분말상태의 Agarose LE 1.35mg을 혼합하여 용해한 후 UV 반응 시 증폭밴드 육안관찰을 위하여 RedSafe™ 9 μ l를 첨가하여 1.5% agarose gel을 만든 후 전기영동을 통해

DNA 밴드길이를 확인하였다. 전기영동을 통해 확인된 PCR 산물은 QIAquick PCR Purification Kit (QIAGEN, Germany)을 이용하여 정제하였다. 정제된 PCR 산물은 하늘다람쥐의 미토콘드리아 Cytochrome *b* DNA 증폭에 사용한 primer CbM1, CbMR2를 이용하여 염기서열결정 (sequencing)을 하였다. 이를 통해 얻어진 자료는 Bioedit v7.2.5(Hall 1999)을 이용하여 육안으로 확인하고 보정해서 공통염기배열(consensus sequence: 1,140bp)로 작성하여 분석에 이용하였다.

3. 자료 분석

하늘다람쥐의 계통 유연관계를 파악하기 위하여 계통수(phylogenetic tree)분석과 네트워크(median-joining network) 분석을 실시하였다. 하늘다람쥐의 계통수분석은 JMODELTEST 2.1.4 (Posada 2008)을 통하여 도출된 최적모델인 Hasegawa Kishino Yano model (HYK) + G (Hasegawa *et al.* 1985) evolution model을 이용하여 Beast2 프로그램의 베이지안 추론방법 (Bayesian inference)으로 Markov chain Monte Carlo (MCMC) 절차 20,000,000번을 실시하여 분석하였다(Bouckaert *et al.* 2014). 계통수의 극성을 결정하기 위한 참조분류군(outgroup)으로 근연종인 *Pteromys momonga*를 설정하여 분석하였다. 도출된 20,000개의 계통수 중 10%를 배제한 후 18,000개의 계통수 가지고 최종 계통수를 작성하였다. 하늘다람쥐의 haplotype의 연관관계 파악을 위한 네트워크분석은 Network 프로그램 (version 4.6.1.2)을 이용하여 분석하고 도식화 하였다(Bandelt *et al.* 1999). 그리고 하늘다람쥐의 유전 다양성을 파악하기 위해 DNASP version 5.10 (Librado and Rozas 2009)를 이용하여 haplotype diversity와 nucleotide diversity를 도출하였다. 하늘다람쥐의 유전 다양성과 다른 멸종위기종 및 일반종을 비교하기 위하여 선행연구에서 알려진 유전 다양성 자료를 확보하였다(이 2009, 김 2011, 전 2015, 국립생물자원관 2016). 유전 다양성 자료 수집은 Cytochrome *b* DNA (1,140 pb)를 통해 도출된 샘플수가 10개 이상인 자료 중, haplotype diversity와 nucleotide diversity가 동시에 기재된 자료만을 수집하였다. 하늘다람쥐 지역별 유전 구조 차이의 유의성을 판단하기 위하여 Arlequin v3.5.2.2을 이용하여 Analysis of Molecular Variance (AMOVA, Excoffier *et al.* 1992)분석을 실시하였다. 그리고 pairwise F_{ST} (Nei and Li 1979) 방법을 이용하여 유전적 차이를 분석하였다.

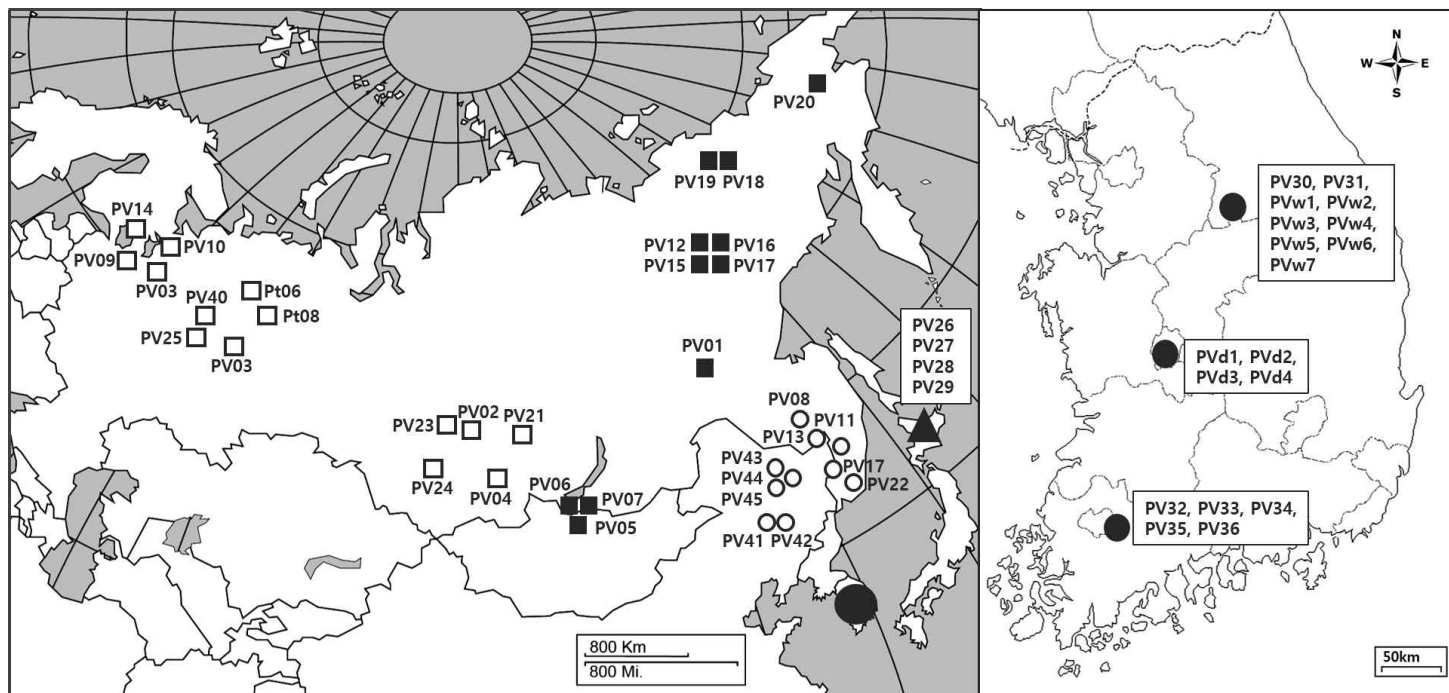


Fig. 6-1. Sampling location of 58 haplotypes of Siberian flying squirrel. Open squares(□) indicate North West Eurasia clade, Black squares(■) indicate North East Eurasia clade, Open circles(○) indicate East Russia and China clade, Black circles(●) indicate Korea clade, Black triangles(▲) indicate Hokkaido clade

Table 6-1. Sampling information of Siberian flying squirrel by geographic group

Group	N ^a	n ^b	Haplotype (no. of individuals)
Overall	109	58	
Northern Eurasia	35	27	
North West Eurasia	19	13	PV02 (1), PV03 (2), PV04 (1), PV09 (1), PV10 (1), PV14 (1), PV21 (1), PV23 (1), PV24 (1), PV25 (6), PV40 (1), Pt06 (1), Pt08 (1)
North East Eurasia	16	14	PV01 (1), PV05 (1), PV06 (2), PV07 (1), PV12 (1), PV15 (1), PV16 (1), PV17 (1), PV18 (1), PV19 (1), PV20 (1), PV37 (1), PV38 (2), PV39 (1)
Far-East	69	28	
East Russia and China	10	10	PV08 (1), PV11 (1), PV13 (1), PV17 (1), PV22 (1), PV41 (1), PV42 (1), PV43 (1), PV44 (1), PV45 (1)
Korea	59	18	PV30 (1), PV31 (1), PV32 (3), PV33 (2), PV34 (1), PV35 (3), PV36 (6), *PVw01 (9), *PVw02 (2), *PVw03 (7), *PVw04 (5), *PVw05 (1), *PVw06 (1), *PVw07 (4), *PVd1 (4), *PVd2 (5), *PVd3 (3), *PVd4 (1)
Hokkaido, Japan	5	4	PV26 (2), PV27 (1), PV28 (1), PV29 (1)

^asample size, ^bno. of haplotypes, *newly found haplotypes

III. 연구결과

하늘다람쥐 109마리의 미토콘드리아 Cytochrome *b* 염기서열에서 확인된 haplotype은 총 58개로 나타났다. 본 연구에서 수집된 국내 하늘다람쥐 45마리에서 13개의 haplotype이 관찰되었으며, NCBI의 Genbank에 등록되지 않은 새로운 haplotype 11개를 확인하였다. 기존 연구에서 나타난 결과와 함께 국내 하늘다람쥐 59마리에서 총 18개의 haplotype을 확보하였다.

하늘다람쥐의 계통 유연관계를 파악하기 위하여 유라시아 지역에 따라 계통수 분석과 네트워크 분석을 실시하였다. 그 결과, 하늘다람쥐는 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역의 3개 lineage로 명확하게 구분되어 나타났다(Fig 6-2). 네트워크 분석을 통한 결과 또한 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역의 3개 lineage로 명확하게 구분되는 것으로 확인되었다(Fig 6-3).

3개의 lineage는 서북유라시아와 동북유라시아, 동부 러시아와 중국, 한국, 북해도 5개의 clade로 구분되는 경향을 보였다. 그러나 5개의 clade 내 분지형상은 명확하게 구분되어 나타나지 않았다. 네트워크 분석 결과 서북유라시아와 동북유라시아, 동부 러시아와 중국, 한국, 북해도 5개의 clade로 명확하게 구분되지 않는 것으로 나타났다(Fig 6-3).

국내 하늘다람쥐의 계통은 극동 지역 lineage에 속하는 것으로 확인되었다. 국내 지역별 개체군의 계통수분석과 네트워크 분석 결과, 국내 하늘다람쥐 소개체군은 강원과 대전, 전라남도 등 지역에 따라 명확하게 구분되지 않았다. 네트워크 분석 결과 역시 지역에 따른 명확한 구분은

나타나지 않았다(Fig 6-4).

유라시아 지역 하늘다람쥐의 유전 다양성을 분석한 결과, 전체 haplotype diversity는 0.98, nucleotide diversity는 0.0104로 나타났다(Table 6-2). 계통수 분석 결과로 나타난 3개의 lineage에 따라 구분하여 분석한 결과, 북유라시아 지역의 haplotype diversity는 0.97, nucleotide diversity는 0.0056로 확인되었다. 극동 지역의 haplotype diversity는 0.95, nucleotide diversity는 0.0070로 가장 높게 나타났다. 그리고 북해도 지역의 haplotype diversity는 0.90, nucleotide diversity는 0.0019로 확인되어 가장 낮았다.

5개의 clade에 따라 유전 다양성을 분석한 결과, 서북유라시아 지역의 haplotype diversity는 0.91, nucleotide diversity는 0.0030, 동북유라시아 지역의 haplotype diversity는 0.98, nucleotide diversity는 0.0038로 확인되었다(Table 6-2). 그리고 동부 러시아와 중국 지역의 haplotype diversity는 1.00, nucleotide diversity는 0.0095, 한국 지역의 haplotype diversity는 0.93, nucleotide diversity는 0.0062로 나타났다.

국내 하늘다람쥐 개체군의 유전 다양성 분석 결과, 강원 지역의 haplotype diversity는 0.86, nucleotide diversity는 0.0058로 확인되었다(Table 6-3). 그리고 대전 지역의 haplotype diversity는 0.76, nucleotide diversity는 0.0040로 나타났다. 전라남도 지역의 haplotype diversity는 0.76, nucleotide diversity는 0.0053로 확인되어 강원 지역의 유전 다양성이 가장 높은 것으로 나타났다.

하늘다람쥐의 유전 다양성을 같은 법정보호종인 산양($h=0.91$, $\pi=0.0079$, 전 2015)과 삶($h=0.69$, $\pi=0.0010$, 국립생물자원관 2016)의 유전 다양성과 비교한 결과, 하늘다람쥐의 유전 다양성이 더 높은 것으로 확인되었다(Fig 6-5). 또한 설치류인 다람쥐($h=0.99$, $\pi=0.0193$, 이 2009), 등

줄쥐($h=0.97$, $\pi=0.0103$, 김 2011), 청설모($h=0.91$, $\pi=0.0022$, 이 2009), 흰넓적다리붉은쥐($h=0.98$, $\pi=0.0084$, 김 2011)와 비교한 결과, 국내 설치류 4종의 평균($h=0.96$, $\pi=0.0100$)보다는 낮은 것으로 나타났다(Fig 6-5).

하늘다람쥐의 유라시아 지역별 유전 구조 차이를 확인하기 위해 AMOVA 분석을 수행한 결과, 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역의 3개의 lineage 간 유전 구조는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 6-4). lineage 간 하늘다람쥐의 유전변이 차이는 55%로 나타났으며, 각 lineage 내 유전변이 차이는 45%로 확인되었다.

서북유라시아와 동북유라시아, 동부 러시아와 중국, 한국, 북해도의 5개의 clade 간 유전 구조는 유의한 차이를 보이는 것으로 확인되었다(Table 6-5). clade 간 하늘다람쥐의 유전변이의 차이는 57%로 나타났으며, 각 clade 내 유전변이 차이는 43%로 확인되었다.

강원, 대전, 전라남도 지역의 국내 하늘다람쥐 소개체군 간 유전 구조 또한 유의한 차이가 나타났다(Table 6-6). 그러나 국내 소개체군의 지역 간 유전변이의 차이는 23%, 지역 내 유전변이 차이는 77%로 확인되어 유라시아 지역에 따른 결과보다 변이가 적은 것으로 나타났다.

Pairwise F_{ST} 분석을 통해 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역의 3개 lineage 간 유전적 거리를 구한 결과 유의하게 분화한 것으로 나타났다(Table 6-7). 북유라시아 지역과 북해도 지역의 F_{ST} 값이 0.80으로 가장 높게 확인되었으며, 북유라시아 지역과 극동 지역이 0.45로 가장 낮게 나타났다. 북해도 지역은 극동 지역과 지리적으로 가까움에도 불구하고 높은 F_{ST} 값을 보였다.

서북유라시아와 동북유라시아, 동부 러시아와 중국, 한국, 북해도의 5개의 clade 간 유전적 거리 또한 유의한 차이가 나타났다(Table 6-8). 지

리적으로 가장 멀리 위치한 서북유라시아와 북해도 지역의 F_{ST} 값이 0.89로 가장 높게 확인되었다. 동부 러시아와 중국 지역과 한국은 F_{ST} 값이 0.29로 나타나 유전적 거리가 가장 가까운 것으로 나타났다.

강원, 대전, 전라남도 지역의 국내 하늘다람쥐 소개체군 간 유전적 거리도 유의한 차이가 나타났다(Table 6-9). 강원과 대전의 F_{ST} 값이 0.18로 가장 낮은 유전적 거리를 보였으며, 지리적으로 가장 떨어진 강원과 전남의 F_{ST} 값이 0.26으로 가장 높게 확인되었다.

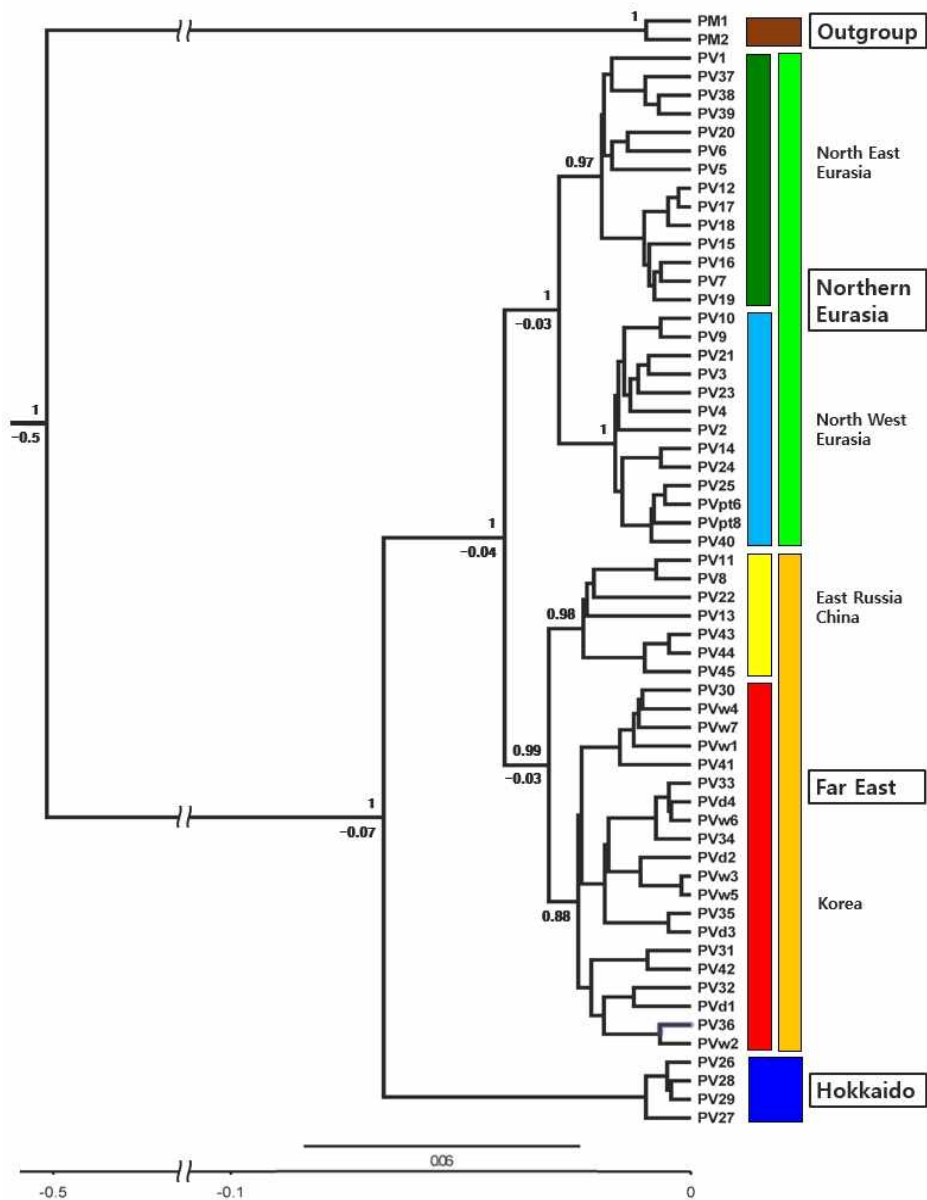


Fig. 6-2. Phylogenetic tree among 58 haplotype of Siberian flying squirrel on mtDNA cytochrome *b* (1,140 bp). Bayesian posterior probability (upper) and node age (below) are shown for branches

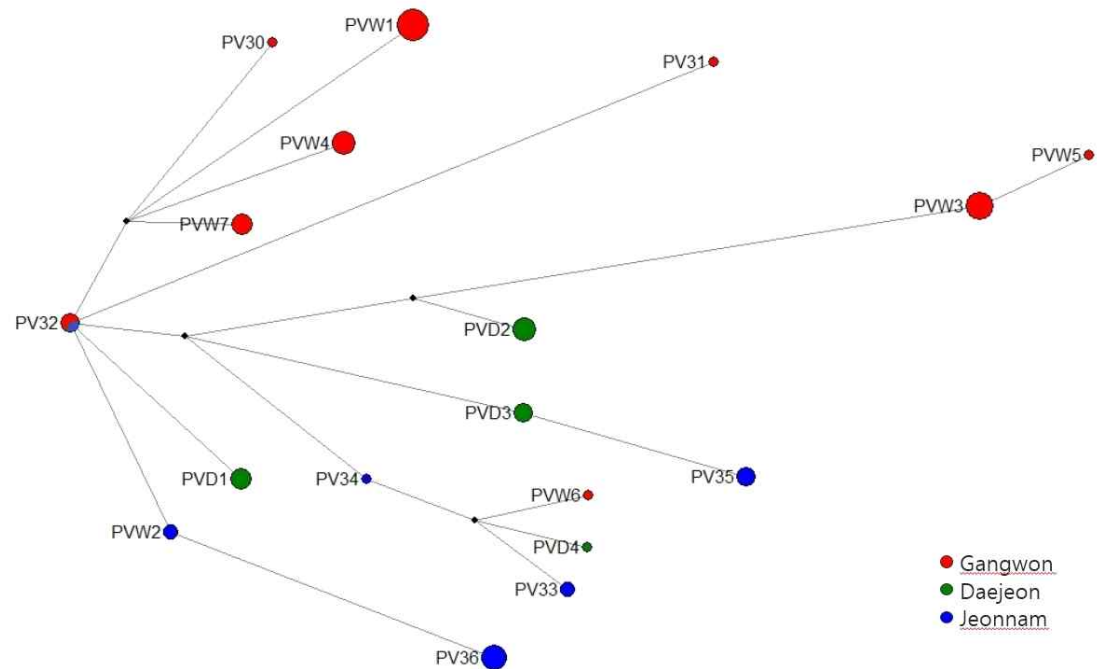


Fig. 6-4. Median joining network of 18 mtDNA cytochrome *b* haplotypes of Siberian flying squirrel in Korea. The size of node indicates proportional to the haplotype frequency, and the branches length is proportional to the mutational steps separating the haplotypes

Table 6-2. Estimated genetic diversity of Siberian flying squirrel in Eurasia

	N ^a	n ^b	<i>H</i> ^c (±SD)	π ^d (±SD)
Overall	109	58	0.98 (0.01)	0.0104 (0.0007)
Northern Eurasia	35	27	0.97 (0.02)	0.0056 (0.0004)
North West Eurasia	19	13	0.91 (0.06)	0.0030 (0.0006)
North East Eurasia	16	14	0.98 (0.03)	0.0038 (0.0005)
Far-east	69	28	0.95 (0.01)	0.0070 (0.0004)
East Russia and China	10	10	1.00 (0.05)	0.0095 (0.0013)
Korea	59	18	0.93 (0.01)	0.0062 (0.0003)
Hokkaido, Japan	5	4	0.90 (0.16)	0.0019 (0.0006)

^asample size, ^bno. of haplotypes, ^chaplotype diversity, ^dnucleotide diversity(%)

Table 6-3. Estimated genetic diversity of Siberian flying squirrel in Korea

	N ^a	n ^b	<i>H</i> ^c (±SD)	π ^d (%±SD)
Overall	59	18	0.93 (0.01)	0.0062 (0.0003)
Gangwon	33	10	0.86 (0.03)	0.0058 (0.0005)
Daejeon	13	4	0.76 (0.07)	0.0040 (0.0004)
Jeonnam	13	5	0.76 (0.10)	0.0053 (0.0007)

^asample size, ^bno. of haplotypes, ^chaplotype diversity, ^dnucleotide diversity(%)

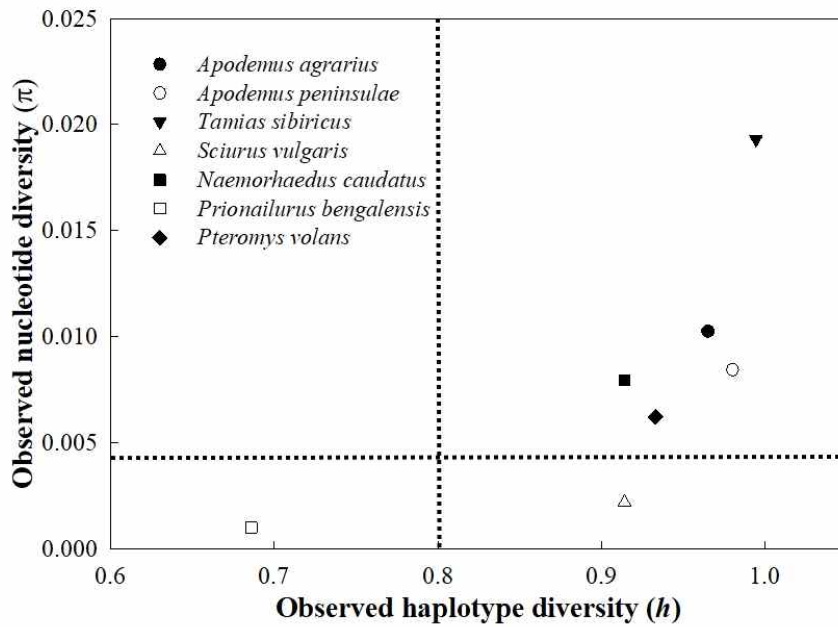


Fig. 6-5. Comparison of genetic diversity among Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*), Striped field mouse (*Apodemus agrarius*, Kim 2011), Korean field mouse (*A. peninsulae*, Kim 2011), Siberian chipmunk (*Tamias sibiricus*, Lee 2009), Eurasian red squirrel (*Sciurus vulgaris*, Lee 2009), Amur goral (*Naemorhedus caudatus*, Jeon 2015), and Leopard cat (*Prionailurus bengalensis*, NIBR 2016)

Table 6-4. Results of analysis of molecular variance of Siberian flying squirrel in 3 lineages

Source of Variation	df	Sum of squares	Variance components	Percentage of Variation
Among populations	2	249.53	4.50	55*
Within populations	106	385.23	3.63	45*

* Means with different superscript letters are statistically different ($p < 0.05$)

Table 6-5. Results of analysis of molecular variance of Siberian flying squirrel in 5 clades

Source of Variation	df	Sum of squares	Variance components	Percentage of Variation
Among populations	4	312.77	4.28	57*
Within populations	104	321.98	3.10	43*

* Means with different superscript letters are statistically different ($p < 0.05$)

Table 6-6. Results of analysis of molecular variance of Siberian flying squirrel in Korea

Source of Variation	df	Sum of squares	Variance components	Percentage of Variation
Among populations	2	36.97	0.89	23*
Within populations	56	168.72	3.01	77*

* Means with different superscript letters are statistically different ($p < 0.05$)

Table 6-7. Genetic differentiation (F_{ST} values, below diagonal) of Siberian flying squirrel in 3 lineages

	Northern Eurasia	Far East	Hokkaido
Northern Eurasia	–		
Far East	0.45*	–	
Hokkaido	0.80*	0.75*	–

* Means with different superscript letters are statistically different (p<0.05)

Table 6-8. Genetic differentiation (F_{ST} values, below diagonal) of Siberian flying squirrel in 5 clades

	NWE ^a	NEE ^b	ERC ^c	KOR ^d	HKD ^e
NWE	–				
NEE	0.57*	–			
ERC	0.59*	0.44*	–		
KOR	0.61*	0.49*	0.29*	–	
HKD	0.89*	0.86*	0.74*	0.77*	–

*Means with different superscript letters are statistically different (p<0.05)

^aNorth West Eurasia, ^bNorth East Eurasia, ^cEast Russia and China, ^dKorea,

^eHokkaido

Table 6-9. Genetic differentiation (F_{ST} values, below diagonal) of Siberian flying squirrel populations in Korea

	Gangwon	Daejeon	Jeonnam
Gangwon	–		
Daejeon	0.18*	–	
Jeonnam	0.26*	0.23*	–

* Means with different superscript letters are statistically different (p<0.05)

IV. 고찰

유라시아 지역 하늘다람쥐는 유전적 분화 및 계통 유연관계에 따라 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역의 3개의 lineage로 명확하게 단계통을 형성하는 것으로 나타났다. 또한 유전 구조와 유전적 거리도 유의한 차이가 확인되어 기존 연구와 유사하게 나타났다(Oshida *et al.* 2005, Lee *et al.* 2008). 그러나 국내 하늘다람쥐 소개체군은 지역 간 23%의 유전 구조의 차이와 유전적 거리(F_{ST} : 0.18~0.26)가 확인되었으며, 단계통으로 명확하게 구분되어 나타나지 않았다.

하늘다람쥐의 유전다양성은 극동 지역에서 가장 높게 확인되었다. 반면에 극동지역과 상대적으로 지리적 거리가 가까운 북해도 지역은 유전 다양성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 가장 먼저 분화된 북해도 지역이 섬으로 고립되어 다른 지역과의 유전적 교류가 어려웠기 때문인 것으로 추정된다(Oshida *et al.* 2005).

유전 다양성은 해당 종의 멸종위기정도를 파악할 수 있는 객관적인 지표로 알려져 있다(Rivers *et al.* 2014). 국내 하늘다람쥐의 보전 지위 확인을 위하여 유전 다양성을 비교한 결과, 하늘다람쥐의 유전 다양성은 다람쥐와 등줄쥐, 청설모, 흰뺨적다리붉은쥐 등 국내 설치류 4종의 평균보다 낮게 나타났으나, 다른 법정보호종인 산양과 삵 보다는 높은 것으로 확인되었다. 이에 따라 국내 하늘다람쥐는 심각한 멸종위기에 직면한 것은 아닌 것으로 추정된다.

진화적 유의단위(ESU)는 계통 및 분화정도에 따라 명확하게 구분되어야 한다(Moritz 1994). 그러므로 하늘다람쥐는 계통 유연관계 분석 결과에 따라 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역 3개의 진화적 유

의단위(ESU)로 구분해야 된다고 판단된다. 본 연구 결과 국내 하늘다람쥐는 극동 지역의 진화적 유의 단위에 포함되는 것으로 나타났다. 이에 따라 추후 하늘다람쥐 보전을 위하여 국외 개체를 도입할 경우 극동 지역에서 도입하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

유전적 분화에 따른 계통 유연적 특성 파악을 바탕으로 한 아종이나 관리 단위 구분은 해당 종의 효율적인 보전과 관리를 위해 필요하다(Palsbøll *et al.* 2007). 하늘다람쥐는 *P. v. volans*, *P. v. athene*, *P. v. buechneri*, *P. v. orii*의 4개의 아종으로 구분되는 것으로 알려져 있다(Wilson *et al.* 2016). 본 연구에서 염기서열 정보를 확보하지 못한 *P. v. athene*을 제외한 나머지 3 아종의 유전적 특성을 확인한 결과 기존의 분류체계와 동일하게 나타났다. 국내 서식하는 하늘다람쥐는 극동 지역에서 서식하는 *P. v. buechneri*로 확인되었다.

국내 하늘다람쥐의 유전적 특성을 확인한 결과, 진화적 유의단위 수준으로의 분화정도는 나타나지 않는 것으로 확인되어 국내 하늘다람쥐는 하나의 큰 개체군으로 취급해야 한다. 따라서 국내 하늘다람쥐의 효과적인 보전을 위하여 국내 개체군을 하나의 관리 단위(MU)로 설정하여 보호해야 되는 것으로 제안 한다. 최근 들어 계통 유연관계와 더불어 개체군 동태, 행동 등의 생태적 특성에 대한 정보도 함께 고려한 보전 단위 설정이 필요한 것으로 보고되었다(Crandall *et al.* 2000). 추후 이와 같은 후속연구와 본 연구로 확인된 유전적 특성을 종합하면 하늘다람쥐의 효과적인 보호 및 보전을 위한 명확한 관리단위 주체를 설정 할 수 있을 것으로 판단된다.

제7장 종합고찰 및 결론

I. 종합고찰

한 생물종의 보전 및 관리를 위해서는 해당 종의 생물학적, 생태학적 특성 파악을 바탕으로 이루어져야 한다(Goldsmith 1990). 하늘다람쥐는 국내에서 멸종위기야생생물 II급, 천연기념물 제328호로 지정하여 보호하고 있다. 또한 하늘다람쥐는 산림생태계의 구성원으로 종자산포 등의 중요한 역할을 하며, 깃대종과 우산종으로서의 가치도 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 국내 하늘다람쥐에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 하늘다람쥐의 형태적 특성과 생태적 특성, 유전적 특성을 파악하고, 기존 연구결과와 비교하고 고찰함으로써 하늘다람쥐의 과학적이고 합리적인 보전 및 관리를 위한 기초자료를 제시하고자 실시되었다.

하늘다람쥐의 형태적 특성을 파악하고 성적이형성 지수를 도출한 결과, 하늘다람쥐는 암컷편향적 성적이형성을 나타내는 것으로 확인되었다. 단독으로 생활하고 암컷 혼자 새끼를 키우는 하늘다람쥐의 생태적 특성에 따라 번식성공률을 높이기 위하여 이와 같은 특성을 보이는 것으로 판단된다. 국내 하늘다람쥐의 형태적 특성은 북해도 지역과 핀란드에 서식하는 하늘다람쥐에 비해 작은 것으로 나타났다. 이에 따라 세지역의 체중과 머리-몸통의 길이를 비교한 결과 핀란드 > 북해도 > 한국 순으로 위도가 높을수록 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 분포 지역의 위도에 따른 기후와 서식환경 차이에 따른 것으로 생각된다. 추후 분포 지역에 따라 체중과 머리-몸통의 길이 이외의 외부형태 항목에 대한 비교 연구가 필요할 것으로 판단된다.

하늘다람쥐의 인공둥지 이용률은 시기에 따라 다르게 나타났다. 이는

번식, 육추, 이소시기의 차이와 함께 계절에 따라 둥지이용 양상이 다르기 때문인 것으로 생각된다. 한배새끼수는 2.17 ± 0.31 마리로 확인되어 번식시기와 한배새끼수는 기존연구에서 알려진 결과와 유사하게 나타났다(Airapetyants and Fokin 2003). 하늘다람쥐의 번식기는 3월부터 8월까지로 확인되어, 하늘다람쥐의 번식기를 고려한 숲관리 및 산림사업이 시행되어야 할 것으로 생각된다. 하늘다람쥐는 둥지 입구직경 4.0cm를 선호하는 것으로 나타났다. 또한 인공둥지를 이용한 기존 연구와 함께 고려하였을 때 하늘다람쥐는 4.0~5.0cm의 입구직경을 선호하는 것으로 생각된다(Kim *et al.* in press). 따라서 둥지제공을 통한 서식유도 및 모니터링을 위한 인공둥지 설치 시 하늘다람쥐의 몸 크기(두개골 약 4cm)를 고려한 입구직경 4.0~5.0cm의 인공둥지 설치가 필요한 것으로 판단된다. 그리고 둥지재료 분석결과, 목본성덩굴의 비율이 가장 높게 확인되어 목본성덩굴은 하늘다람쥐의 중요한 둥지재료로 생각된다. 하늘다람쥐의 둥지선택은 가까운 교목과의 거리와 주변 교목의 수고, 교목수관면적에 영향을 받는 것으로 확인되었으며, 이는 활공에 영향을 미치는 숲의 구조와 관련 있는 것으로 판단된다.

하늘다람쥐의 행동권은 15.12 ± 3.18 ha로 나타났으며, 핵심서식지는 2.75 ± 1.04 ha로 확인되었다. 그러나 핀란드에 서식하는 하늘다람쥐의 행동권 보다는 작은 것으로 나타났다. 우리나라는 활엽수림 및 혼효림이 우점하고 있는 반면, 핀란드와 같은 북유럽 지역은 침엽수림이 우점하고 있다. 이와 같은 숲의 구조 차이에 따라 북유럽에 서식하는 하늘다람쥐의 이동이 상대적으로 증가하여 행동권 크기에 차이가 나타나는 것으로 생각된다(Wauters *et al.* 2001). 그리고 침엽수림은 활엽수림 및 혼효림에 비해 종자 생산성이 떨어지는 것으로 알려져 있어 연구대상지인 백운산의 가용먹이자원 또한 풍부한 것으로 추정되나 정확히 확인하기 어려웠다. 이

에 따라 추후 임상 별 종자 생산량 등의 가용먹이자원에 대한 조사가 필요할 것으로 생각된다. 하늘다람쥐의 행동권 크기와 중첩은 번식기에 더 크게 나타났으며, 이는 하늘다람쥐의 번식활동에 따른 행동권 증가와 서식환경 등의 요인으로 인하여 나타난 것으로 추정된다. 행동권 내 서식지 이용을 확인한 결과, 하늘다람쥐는 수관밀도가 밀한 산림과 수목의 크기가 큰 성숙림을 선호하고 이용하는 것으로 확인되었다. 그러나 본 연구 대상지인 백운산은 침엽수림과 활엽수림, 혼효림이 균일하게 분포하고 있지 않으므로 본 연구 결과를 국내 전체에 적용하기에는 무리가 있는 것으로 생각된다. 따라서 추후 다양한 임상에서 하늘다람쥐의 흔적조사와 개체군 크기, 서식 밀도, 미세 서식 환경 요인을 파악하고 행동권 및 서식지 이용을 함께 비교하고 분석하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

하늘다람쥐에 기생하는 벼룩을 동정한 결과, 다람쥐벼룩(*Ceratophyllus* (*Monopsyllus*) *indages*)으로 확인되었다. 청설모와 다람쥐에 다람쥐벼룩이 기생하는 것은 보고되었지만, 하늘다람쥐에 기생하는 것은 본 연구에서 처음으로 발견하였다. 벼룩과 진드기와 같은 절지동물은 질병을 매개하는 것으로 알려져 있어 하늘다람쥐와 다람쥐벼룩에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 생각된다. 숙주인 하늘다람쥐의 활동성과 건강도는 다람쥐벼룩의 기생에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 하늘다람쥐 수컷에서 더 많은 수의 다람쥐벼룩이 확인되었고, 체중이 적게 나가는 개체의 감염 다람쥐벼룩수 역시 높게 나타났다. 종합적으로 다람쥐벼룩은 체중이 적은 하늘다람쥐 수컷을 선호하는 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 기생충에 대한 숙주의 방어기작과 숙주에 대한 기생충의 선택기작에 따른 것으로 생각된다. 따라서 하늘다람쥐와 다람쥐벼룩의 상호관계는 숙주의 건강도 및 행동권 크기와 연관하여 진화된 것으로 판단된다.

하늘다람쥐의 유전 다양성은 극동 지역에서 가장 높게 확인되었고, 북

해도 지역에서 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 가장 먼저 분화된 북해도 지역이 섬으로 고립되어 다른 지역과의 유전적 교류가 어려웠기 때문인 것으로 추정된다. 또한 다른 일반종 및 멸종위기종과의 유전 다양성을 비교한 결과, 하늘다람쥐는 심각한 멸종위기에 직면한 것은 아닌 것으로 생각된다. 계통 유연관계와 유전 구조 확인 결과에 따라 하늘다람쥐의 진화적 유의단위(ESU)는 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역 3개로 구분해야 한다. 국내 하늘다람쥐는 극동 지역의 진화적 유의단위에 포함되는 것으로 나타났으며, 이에 따라 하늘다람쥐 보전을 위한 재도입 시 극동 지역에서 도입하는 것이 바람직하다. 국내 하늘다람쥐의 유전적 특성은 진화적 유의단위 수준으로의 분화정도는 나타내지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 국내 개체군은 하나의 큰 개체군으로 취급하고 하나의 관리 단위(MU)로 설정하여 보호해야 되는 것으로 제안한다.

본 연구를 통해서 처음으로 국내 서식하는 하늘다람쥐의 형태와 동지 선택 및 이용, 행동권 및 서식지 이용, 외부기생충, 유전 다양성 및 구조를 구명하였다. 이에 따라 본 연구를 통해 도출된 결과는 멸종위기종이자 천연기념물인 하늘다람쥐의 보전 및 관리를 위한 계획 수립 시 근거 자료로 사용될 수 있어 그 의의가 큰 것으로 판단된다.

본 연구 결과, 하늘다람쥐는 주로 수동을 동지로 이용하고 활동을 통해 이동하는 생태적 특성에 따라 수목의 크기가 크고 수관밀도가 울폐된 성숙림을 선호하는 것으로 확인되었다. 이에 따라 본 연구에서 도출된 행동권 크기를 바탕으로 하늘다람쥐의 행동반경을 고려한 서식지 면적을 유지하고, 하늘다람쥐의 이동을 저해하는 서식지의 단편화를 최소화 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그리고 하늘다람쥐의 동지 선택에 영향을 미치는 교목수고와 수관면적, 임목 밀도 등의 환경 요인과 하늘다람쥐의 활공에 영향을 미치는 숲의 구조를 함께 고려하여 숲가꾸기 및 산림벌

채 등의 산림사업이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

그러나 본 연구 결과만으로 하늘다람쥐의 생태와 유전적 특성이 모두 파악된 것은 아니다. 추가적으로 다양한 서식환경에서 하늘다람쥐의 자연동지 이용, 먹이자원, 번식생태와 이소 시 새끼의 분산, communal nesting에 대한 더욱 심도 깊은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 다양한 서식 환경에서의 연구와 함께 하늘다람쥐의 지속적인 모니터링이 수행되어야 할 것이다. 따라서 효과적인 하늘다람쥐의 보전을 위해서는 이와 같은 후속연구와 함께 본 연구를 통해 확인된 생태적 특성과 관리 단위를 근거로 한 하늘다람쥐의 보호 및 서식지 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

II. 결론

국내 서식하는 하늘다람쥐의 형태와 생태, 유전적 특성을 파악한 연구 결과는 다음과 같이 나타났다.

1. 국내 하늘다람쥐의 형태적 특성은 암컷편향적 성적이형성을 나타내는 것으로 확인되었으며, 이는 번식전략에 따른 것으로 생각된다. 또한 서식지역의 위도에 따라 핀란드와 북해도 지역의 개체군보다 형태적 특성이 작게 나타났다. 이러한 결과는 분포 지역의 위도에 따른 기후와 서식환경 차이에 따른 것으로 생각된다.
2. 하늘다람쥐의 입구직경 선호도는 4cm에서 가장 높게 나타났고, 한배새끼수는 2.17 ± 0.31 마리로 확인되었다. 그리고 목본성덩굴이 중요한 등지 재료로 판단된다. 하늘다람쥐는 근접한 교목과의 거리가 멀고 주변 나무의 수고가 높으며, 교목수관면적이 넓은 나무를 등지로 이용할 가능성이 높은 것으로 예측되었다. 이는 활공을 통해 이동하는 하늘다람쥐의 특성과 관련이 있는 것으로 판단된다.
3. 하늘다람쥐의 행동권은 15.12 ± 3.18 ha로 나타났으며, 핵심서식지는 2.75 ± 1.04 ha로 확인되었다. 행동권 크기와 중첩은 시기에 따라 유의한 차이를 보였으며, 번식기에 더 크게 나타났다. 이러한 결과는 번식기 세력권 방어와 짝짓기를 위한 탐색과 이동의 증가에 따른 것으로 판단된다. 하늘다람쥐의 서식지 이용을 분석한 결과, 울폐한 산림과 수목의 크기가 큰 성숙림을 많이 이용하는 것으로 확인되어 숲의 구조에 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 하늘다람쥐의 외부기생충은 다람쥐벼룩(*Ceratophyllus (Monopsyllus) indages*)으로 확인되었으며, 본 연구를 통해 국내에서 하늘다람쥐에서는 처음으로 발견되었다. 하늘다람쥐의 성별과 체중은 다람쥐벼룩의 감염에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 따라 하늘다람쥐와 기생충의 상호관계는 숙주의 건강도 및 행동권 크기와 연관하여 진화된 것으로 판단된다.
5. 하늘다람쥐는 계통 유연관계에 따라 북유라시아 지역과 극동 지역, 북해도 지역으로 명확하게 구분되어 3개의 진화적 유의단위(ESU)로 구분하는 것이 바람직하다. 국내 하늘다람쥐는 극동 지역 진화적 유의단위에 포함되는 것으로 확인되었다. 국내 개체군은 진화적 유의단위 수준으로의 유전적 분화정도는 보이지 않는 것으로 확인되어 하나의 큰 개체군으로 취급하고 하나의 관리 단위(MU)로 설정하는 것을 제안한다.

본 연구를 통해 멸종위기종이자 천연기념물인 하늘다람쥐의 형태와 동지선택 및 이용, 행동권 및 서식지 이용, 외부기생충, 유전 다양성 및 구조를 처음으로 구명하였다. 효과적인 하늘다람쥐의 보전을 위해서는 본 연구를 통해 확인된 생태적 특성과 관리 단위를 근거로 한 하늘다람쥐의 보호 및 서식지 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 밝히지 못한 자연 동지 및 서식지 이용과 다양한 임상에서의 행동권 및 이동특성 등의 후속연구 또한 필요한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 고흥선, 양병국, 이배근, 장경희, 조재운, 권구희. 2011. 설악산 국립공원에서의 설치류 2종(다람쥐, 흰넓적다리붉은쥐)의 행동권 등 생태연구. 자연과학연구 25: 9-12.
- 국립생물자원관. 2012. 한국의 멸종위기 야생동·식물 적색자료집(포유동물). 국립생물자원관. 인천.
- 국립생물자원관. 2016. 주요동물자원의 유전자 다양성 연구 3단계 2차년도. 국립생물자원관. 인천.
- 기상청. 2016. 기상연보. 기상청. 서울.
- 김백준. 2011. Ecological and genetic characteristics of the Korean water deer (*Hydropotes inermis argyropus*) in South Korea. 서울대학교 대학원. 박사학위논문.
- 김숙현. 2003. 전남지역 닭의 외부 기생충 감염 실태조사. 전남대학교 대학원 석사학위논문.
- 김준수. 2015. 도봉지역의 들고양이(*Felis catus*) 행동권, 서식현황 및 개체군 생존능력 분석을 통한 관리방안 비교. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 김혜리. 2011. 등줄쥐(*Apodemus agrarius*)와 흰넓적다리붉은쥐(*Apodemus peninsulae*)의 생물지리 및 개체군 유전자구조: 국내 분포 및 종 분화에 있어서 제4기 기후변화 영향. 강원대학교 대학원 석사학위논문.
- 김희중. 2011. 멸종위기종 산양(*Naemorhedus caudatus*)의 형태학적, 혈액학적 분석과 전염성 질병에 대한 혈청학적 조사. 강원대학교 대학원 석사학위논문.
- 나지원. 2015. 한국 등줄쥐(*Apodemus agrarius*) 집단의 마이크로새털라이트 변이 연구. 이화여자대학교 대학원 석사학위논문.

- 대전발전연구원. 2014. 대전시 깃대종 선정 및 보전·활용 방안 연구. 대전발전연구원. 대전.
- 박용수. 2009. 형태적 특성과 미토콘드리아 DNA 마커를 이용한 한국산 노루의 분류와 서식지 특성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 박하윤. 2008. 전남 지방에서 사육되는 유산양의 내부 기생충 조사. 전남대학교 대학원 석사학위논문.
- 박효민. 2013. 무선추적장치를 이용한 고라니 행동권 분석 및 고라니 분변을 이용한 토양 물질순환 연구. 이화여자대학교 대학원 석사학위논문.
- 서태원. 2009. 국내 양돈장 주변 설치류 및 고양이에서 돼지 바이러스성 질병 원인체 검출. 강원대학교 대학원 석사학위논문.
- 송하윤. 2015. 쉬리속(Genus *Coreoleuciscus*) 어류의 분류와 집단유전학. 순천향대학교 대학원 박사학위논문.
- 안정화. 2006. 멸종위기에 처한 산양의 microsatellite marker 개발과 특성분석 및 분자계통. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 어경연. 2010. 충남 서산간척지역 너구리, 삵, 고라니의 배설물검사를 통한 내부기생충 감염실태에 대한연구. 경북대학교 대학원 박사학위논문.
- 원병오. 1994. 천연기념물(동물편). 대원사. 서울.
- 원병휘. 1967. 한국동식물도감 제7권 포유류. 문교부. 서울.
- 원홍구. 1968. 조선짐승류지. 과학원출판사. 평양.
- 우동걸. 2010. 서울 강서습지생태공원에 서식하는 삵과 너구리의 서식지 보전계획. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 우동걸. 2014. 한반도 산림에 서식하는 담비의 생태특성과 보전방안. 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.
- 우동걸, 최태영, 이상규, 하정옥. 2013. 하늘다람쥐(*Pteromys volans*) 배설습성과 조사기법 개선방안 연구. 환경영향평가지 22: 569-579.

- 유병호. 2011. 잣나무림에 서식하는 청설모(*Sciurus vulgaris coreae*)의 생태 및 피해방제 전략. 강원대학교 대학원 박사학위논문.
- 윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근. 2004. 한국의 포유동물. 동방미디어. 서울.
- 윤영은. 2010. 한국산 납자루아과 어류의 분자계통학적 및 집단 유전학적 연구. 순천향대학교 대학원 석사학위논문.
- 이무영. 2009. 북유라시아의 하늘다람쥐, 청설모, 다람쥐의 계통지리 및 집단유전학적 구조. 서울대학교 대학원. 박사학위논문.
- 이배근. 2013. 우리나라 국립공원 종복원사업의 현황 및 과제. 환경생태학회지 23: 3-4.
- 이상. 2013. 제주 노루의 흡혈절지동물 매개에 의한 주혈기생충성 질병 조사. 제주대학교 대학원 석사학위논문.
- 이상기. 2013. 백로류 서식지 훼손에 따른 개체군 변화 및 보전방안 연구. 단국대학교 대학원 박사학위논문.
- 이승완. 2010. 주암호 주변에서 사육되는 가축의 수인성 인수공통기생충 감염실태. 전남대학교 대학원 석사학위논문.
- 이우신, 박찬열, 임신재, 허위행, 정옥식, 최창용, 박용수, 이은재. 2010. 야생동물생태관리학. 라이프사이언스. 서울.
- 이윤선. 2016. 시베리아노루의 계통지리 및 집단유전학 연구와 시베리아 사향노루의 계통지리연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이은재. 2011. 강원도 삼척 산불피해지역의 우점 설치류 3종의 생태적 특성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이준원. 2016. 제주족제비(*Mustela sibirica qulpartis*)의 외부형태학적 특징 및 위 내용물 분석. 제주대학교 대학원 석사학위논문.
- 임상진. 2014. 지리정보시스템(GIS)을 활용한 멸종위기 포유동물의 서식지 특성 분석. 강원대학교 대학원 석사학위논문.

- 임춘우, 전영신, 김성철, 정철운. 2016. 경주국립공원 내 하늘다람쥐의 배설지 특성에 관한 연구. 환경생태학회지 26: 113.
- 임춘우, 정철운, 김성철, 전영신. 2017. 하늘다람쥐의 인공소상 이용 현황에 관한 연구. 환경과학회 학술발표회 발표논문집 26: 188.
- 전수원. 2015. Genetic diversity of long-tailed goral (*naemorhedus caudatus*) populations in South Korea. 서울대학교 대학원. 석사학위논문.
- 정병우. 2015. 제주지역 길고양이 전염성 바이러스 및 주혈기생충 질병의 감염률 조사. 제주대학교 대학원 석사학위논문.
- 정종우. 2004. 서식유형이 다른 한국의 세 동물군에 관한 분자집단 유전학 및 계통지리학적 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 조해진, 김달호, 강태한, 김인규, 이준우. 2013. 멸종위기종인 하늘다람쥐 서식특성에 관한 기초적 연구. 환경생태학회지 27: 544-549.
- 최태영, 박종화. 2006. 농촌 지역의 너구리 *Nyctereutes procyonoides* 행동권. 한국환경생태학회지 29: 259-263.
- 홍윤지. 2005. 한국 반달가슴곰의 보전단위 설정을 위한 분자계통 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 환경부. 2012. 야생생물 보호 및 관리에 관한 법률 시행규칙 일부 개정령. 환경부. 세종.
- Airapetyants, A. E. and I. M. Fokin. 2003. Biology of European flying squirrel *Pteromys volans* L. (Rodentia: Pteromyidae) in the North-West of Russia. Russian Journal of Theriology 2: 105-113.
- Amadon, D. 1975. Why are female birds of prey larger than males? Raptor Research 9: 1-11.
- Amori, G., G. Aloise and L. Luiselli. 2014. Modern analyses on an historical data set: skull morphology of Italian red squirrel

- populations. *Zookeys* 368: 79–89.
- Andersson, M. 1994. Sexual selection. Princeton University Press, New Jersey.
- Andersson, M. and R. A. Norberg. 1981. Evolution of reserved sexual size dimorphism and role partitioning among predatory birds, with a size scaling of flight performance. *Biological Journal of the Linnaean Society* 15: 105–130.
- Asari, Y. and H. Yanagawa. 2016. A preliminary study of communal nesting of Siberian flying squirrels *Pteromys volans* in Japan. *Mammal Study* 41: 97–100.
- Avice, J. C. 1994. Molecular markers, natural history and evolution. Chapman and Hall, London.
- Avice, J. C. 2000. Phylogeography: the history and formation of species. Harvard University Press, Massachusetts.
- Badyaev, A. V. and C. K. Ghalambor. 2001. Evolution of life histories along elevational gradients: trade-off between parental care and fecundity. *Ecology* 82: 2948–2960.
- Balkenhol, N. and L. P. Waits. 2009. Molecular road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Molecular Ecology* 18: 4151–4164.
- Bendel, P. R. and J. E. Gates. 1987. Home range and microhabitat partitioning of the southern flying squirrel (*Glaucomys volans*). *Journal of Mammalogy* 68: 243–255.
- Bandelt, H. J., P. Forster and A. Rohlf. 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and*

- Evolution 16: 37–48.
- Barnett, A. and J. Dutton. 1995. Expedition field techniques small mammals (excluding bats). Expedition Advisory Center, London.
- Berens, J. D. 2016. Morphological differences and diversity of small mammal species. PhD Dissertation, North Dakota State University.
- Bergmann, C. 1847. Ueber die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. Göttinger studien 3: 595–780.
- Beyer, G. L. and R. L. Goldingay. 2006. The value of nest boxes in the research and management of Australian hollow-using arboreal marsupials. Wildlife Research 33: 161–174.
- Bjorklund, M. 1991. Evolution, phylogeny, sexual dimorphism and mating system in the Grackles *Quiscalus* spp. Icterinae. Evolution 45: 608–621.
- Blackburn, T. M., K. Gaston and N. Loder. 1999. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's rule. Diversity and Distribution 5: 165–174.
- Blois, J. L., R. S. Feranec and E. A. Hadly. 2008. Environmental influences on spatial and temporal patterns of body size variation in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*). Journal of Biogeography 35: 602–613.
- Blondel, D. V., J. Pino and S. M. Phelps. 2009. Space use and social structure of long-tailed singing mice (*Scotinomys xerampelinus*). Journal of Mammalogy 90: 715–723.
- Bottin, L., J. Tassin., R. Nasi. and J. Bouvet. 2007. Molecular, quantitative and abiotic variables for the delineation of evolutionary significant units: case of sandalwood (*Santalum austrocaledonicum*

- Vieillard*) in New Caledonia. Conservation Genetics 8: 99–109.
- Bouckaert, R., J. Heled, D. Kuhnert, T. Vaughan, C. H. Wu, D. Xie and M. A. Suchard. 2014. BEAST 2: A software platform for Bayesian evolutionary analysis. PLoS Computational Biology 10: e1003537
- Bowen, B. W. and S. A. Karl. 2007. Population genetics and phylogeography of sea turtles. Molecular Ecology 16: 4886–4907.
- Bozeman, F. M., D. E. Sonenshine, M. S. Williams, D. P. Chadwick, D. M. Lauer and B. L. Elisberg. 1981. Experimental infection of ectoparasitic arthropods with *Rickettsia prowazekii* (GvF-16 strain) and transmission to flying squirrels. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 30: 253–263.
- Brown, L. E. 1966. Home range and movement of small mammals. Symposium of the Zoological Society of London 18: 111–142.
- Bubela, T. M., D. C. D. Happold. and L. S. Broome. 1991. Home range and activity of the broad-toothed rat, *Mastacomys fuscus*, in Subalpine heathland. Wildlife Research 18: 39–48.
- Burnham, K. P. and D. R. Anderson. 2002. Model selection and inference: a practical information-theoretic approach. 2nd eds. Springer, New York.
- Burt, W. H. 1943. Territoriality and home range concepts as applied to mammals. Journal of Mammalogy 24: 346–352.
- Cameron, G. N. and S. R. Spencer. 2008. Mechanism of habitat selection by the hispid cotton rat (*Sigmodon hispidus*). Journal of Mammalogy 89: 126–131.
- Carey, A. B., T. M. Wilson, C. C. Maguire. and B. L. Biswell. 1997.

- Dens of northern flying squirrels in the Pacific Northwest. *Journal of Wildlife Management* 61: 684–699.
- Carole, T., G. J. Michel, V. L. Guy, H. Mark. and M. Nicolas. 2006. How does environmental variation influence body mass, body size, and body condition? roe deer as a case study. *Ecography* 29: 301–308.
- Chen, Y. and R. L. Nelson. 2004. Genetic variation and relationships among cultivated, wild and semiwild soybean. *Crop Science* 44: 316–325.
- Chapman, C. A., M. D. Wasserman, T. R. Gillespie, M. L. Speirs, M. J. Lawes, T. L. Saj. and T. E. Ziegler. 2006. Do food availability, parasitism, and stress have synergistic effects on red colobus populations living in forest fragments?. *American Journal of Physical Anthropology* 131: 525–534.
- Choe, S. J., D. M. Lee, H. S. Park, H. K. Jeon, Y. S. Lee, K. J. Na, I. Y. Lee. and K. S. Eom. 2016. *Catenotaenia dendritica* (Cestoda: Catenotaeniidae) and three ectoparasite Species in the red squirrel, *Sciurus vulgaris*, from Cheongju, Korea. *Korean Journal of Parasitology* 54: 509–518.
- Choi, C. Y., H. Y. Nam, E. J. Lee, O. S. Chung, Y. S. Park, J. K. Lee, J. Y. Hyun. and W. S. Lee. 2007. Nest box preference by secondary cavity-nesting birds in forested environments. *Journal of Ecology and Environment* 30: 49–56.
- Clark, J. A., J. M. Hoekstra and P. D. Boersma. 2002. Improving U.S. endangered species act recovery plans: key findings and recommendations of the SCB recovery plan project. *Conservation Biology* 16: 1510–1519.

- Clutton-Brock, T. H. 2007. Sexual selection in males and females. *Science* 318: 1882–1885.
- Cowan, I. M. 1936. Nesting habits of the flying squirrel *Glaucomys sabrinus*. *Journal of Mammalogy* 17: 58–60.
- Cox, C. B. and P. D. Moore. 2016. *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*, 9th ed. John Wiley and Sons, Inc. Oxford.
- Cox, R. M., S. I. Skelly. and H. B. John-Alder. 2003. A comparative test of adaptive hypotheses for sexual size dimorphism in lizards. *Evolution* 57: 1653–1669.
- Crandall, K. A., O. R. Bininda-Emonds, G. M. Mace and R. K. Wayne. 2000. Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 290–295.
- Currie, D. J. 1991. Energy and large-scale biogeographical patterns of animal and plant species richness. *American Naturalist* 137: 27–49.
- Darwin C. 1871. *The descent of man and selection in relation to sex*. John Murray, London.
- Day, J. F. and A. H. Benton. 1980. Population dynamics and coevolution of adult siphonapteran parasites of the Southern Flying Squirrel (*Glaucomys volans volans*). *American Midland Naturalist* 103: 333–338.
- Don B. A. C. 1983. Home range characteristics and correlates in tree squirrels. *Mammal Review* 13: 123–32.
- Dozières, A., J. Chapuis, S. Thibault. and E. Baudry. 2012. Genetic Structure of the French Red Squirrel Populations: Implication for Conservation. *PLoS One* 7: e47607.

- Durant, R., G. W. Luck, and A. Matthews. 2009. Nest-box use by arboreal mammals in a peri-urban landscape. *Wildlife Research* 36: 565–573.
- Eads, D. A. and J. L. Hoogland. 2016. Factors that affect parasitism of black tailed prairie dogs by fleas. *Ecosphere* 7: e01372.
- Eastman, L. M., T. L. Morelli, K. C. Rowe, C. J. Conroy. and C. Moritz. 2012. Size increase in high elevation ground squirrels over the last century. *Global Change Biology* 18: 1499–1508.
- Edmands, S. 2007. Between a rock and a hard place: evaluation the relative risks of inbreeding and outbreeding for conservation and management. *Molecular Ecology* 16: 463–475.
- Eisen, R. J. and K. L. Gage. 2012. Transmission of flea-borne zoonotic agents. *Annual Review of Entomology* 57: 61–82.
- Endo H., J. Kimura, T. Oshida, J. B. Stafford, W. Rerkamnuay-choke, T. Nishida, M. Sasaki, A. Hayashida. and Y. Hayashi. 2003. Geographical variation of skull morphology and its functional significances in the red-cheeked squirrel. *Journal of Veterinary Medical Science* 65: 1179–1183.
- Escudero, A., J. M. Iriondo. and M. E. Torres. 2003. Spatial analysis of genetic diversity as a tool for plant conservation. *Biological Conservation* 113: 351–365.
- Excoffier, L., P. E. Smouse. and J. M. Quattro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131: 479–491.
- Fairbairn D. J., W. U. Blanckenhorn. and T. Székely. 2008. Sex, Size

- and Gender Roles: Evolutionary Studies of Sexual Size Dimorphism. Oxford University Press, Oxford.
- Fauteux, D., L. Imbeau, P. Drapeau. and M. J. Mazerolle. 2012. Small mammal responses to coarse woody debris distribution at different spatial scales in managed and unmanaged boreal forests. *Forest Ecology and Management* 266: 194–205.
- Ferreira, J. P., I. Leitaó, M. Santos-Reis. and E. Revilla. 2011. Human-related factors regulate the spatial ecology of domestic cats in sensitive areas for conservation. *PLoS One* 6: e25970.
- Festa-Bianchet, M. J., M. Gaillard. and J. T. Jorgenson. 1998. Mass and density dependent reproductive success and reproductive costs in a capital breeder. *American Naturalist* 152: 367–379.
- Fokidis H. B., T. S. Risch. and T. C. Glenn. 2007. Reproductive and resource benefits to large female body size in a mammal exhibiting female-biased sexual size dimorphism. *Animal Behavior* 73: 479–488.
- Fortin, M. J., T. H. Keitt, B. A. Maurer, M. L. Taper, D. M. Kaufman and T. M. Blackburn. 2005. Species' geographic ranges and distributional limits: pattern analysis and statistical issues.
- Frankham, R. 2010. Challenges and opportunities of genetic approaches to biological conservation. *Biological Conservation* 143: 1919–1927.
- Frankham, R., J. D. Ballou. and D. A. Briscoe. 2002. Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frankham, R., J. D. Ballou. and D. A. Briscoe. 2004. A primer of conservation genetics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frankham, R., J. D. Ballou. and D. A. Briscoe. 2002. Introduction to

- conservation genetics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Frankham, R., J. D. Ballou, K. Ralls, M. Eldridge, M. R. Dudash, C. B. Fenster, R. C. Lacy and P. Sunnucks. 2017. Genetic management of fragmented animal and plant populations. Oxford University Press, Oxford.
- Franklin, A. N. and H. W. Brown. 1994. Basic clinical parasitology. Appleton and Lange, London.
- Fridell, R. A. and J. A. Livaitis. 1991. Influence of resource distribution and abundance on home-range characteristics of southern flying squirrels. *Canadian Journal of Zoology* 69: 2589–2593.
- Gannon, W. L. and R. S. Sikes. 2007. Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy* 88: 809–823.
- Garshelis, D. L., L. Boitani. and T. K. Fuller. 2000. Research techniques in animal ecology: controversies and consequences. Columbia University Press, New York.
- Garza, J. C. and E. G. Williamson. 2001. Detection of reduction in population size using data from microsatellite loci. *Molecular ecology* 10: 305–318.
- Global biodiversity outlook. 2010. Global biodiversity outlook 3. Convention on Biological diversity. United Nations Environmental Program. New York.
- Goldingay, R. L. 2017. Does nest box use reduce the fitness of a tree-cavity dependent mammal? *Ecological Research* 32: 495–502.
- Goodman, S. M., C. P. Maminirina, H. M. Bradman, L. Christidis and B. R.

- Appleton. 2009. Patterns of morphological and genetic variation in the endemic Malagasy bat *Miniopterus gleni* (Chiroptera: Miniopteridae), with the description of a new species, *M. griffithsi*. Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research 48: 75–86.
- Goldsmith, B. 1991. Monitoring for conservation and ecology. Chapman and Hall. London.
- Gorrell, J. and A. Schulte-Hostedde. 2008. Patterns of parasitism and body size in red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*). Canadian Journal of Zoology 86: 99–107.
- Greenwood, P. J. 1980. Mating systems, philopatry and dispersal in birds and mammals. Animal Behaviour 28: 1140–1162.
- Gündüz, İ., M. Jaarola, C. Tez, C. Yeniyurt, P. D. Polly. and J. B. Searle. 2007. Multigenic and morphometric differentiation of ground squirrels (*Spermophilus*, Scuridae, Rodentia) in Turkey, with a description of a new species. Molecular Phylogenetics and Evolution 43: 916–935.
- Guo, Z., Y. Wang, J. Ran, C. Guo, B. Li, M. Zhang. and P. Song. 2011. Genetic structure of Pallas's squirrel (*Callosciurus erythraeus*) population from artificial forests in Hongya County, Sichuan, China. Acta Ecologica Sinica 31: 71–77.
- Hackett, H. M. and J. F. Pagels. 2003. Nest site characteristics of the endangered northern flying squirrel (*Glaucomys sabrinus coloratus*) in southwest Virginia. American Midland Naturalist 150: 321–331.
- Haigh, A., R. O'Riordan. and F. Butler. 2017. Variations in aggression and activity levels amongst squirrels inhabiting low and high density areas. Ecological Research 32: 931–941.

- Hall, T. A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symposium Series 41: 95-98.
- Holloway, G. L. and J. R. Malcolm. 2007. Northern and southern flying squirrel use of space within home ranges in central Ontario. Forest Ecology and Management 242: 747-755.
- Hamper, A. and R. J. Petit. 2005. Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. Ecology letters 8: 461-467.
- Hanski, I. K. 1998. Home ranges and habitat use in the declining flying squirrel *Pteromys volans* in managed forests. Wildlife Biology 4: 33-46.
- Hanski, I. K., P. C. Stevens, P. Ihalempia. and V. Selonen. 2000. Home-range size, movements, and nest-site use in the Siberian flying squirrel, *Pteromys volans*. Journal of Mammalogy 81: 798-809.
- Harper, M., M. McCarthy. and R. Van der Ree. 2005b. The use of nest boxes in urban natural vegetation remnants by vertebrate fauna. Wildlife Research 32: 509-516.
- Harris, S., W. J. Cresswell, P. G. Forde, W. J. Trehwella, T. Woollard. and S. Wray. 1990. Home range analysis using radio tracking data - a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. Mammal Review 20: 97-123.
- Hasegawa, M., H. Kishino. and T. Yano. 1985. Dating of the human-ape splitting by a molecular clock of mitochondrial DNA. Journal of Molecular Evolution 21: 160-174.
- Haukialmi, V. and I. K. Hanski. 2007. Contrasting seasonal dynamics

- in fleas of the Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*) in Finland. *Ecological Entomology* 32: 333–337.
- Hawlena, H., Z. Abramsky and B. R. Krasnov. 2005. Age-biased parasitism and density-dependent distribution of fleas (Siphonaptera) on a desert rodent. *Oecologia* 146: 200–208.
- Hawlena, H., I. S. Khokhlova, Z. Abramsky. and B. R. Krasnov. 2006. Age, intensity of infestation by flea parasites and body mass loss in a rodent host. *Parasitology* 133: 187–193.
- Hayssen V. 2008. Patterns of body and tail length and body mass in Sciuridae. *Journal of Mammalogy* 89: 852–873.
- Hillen, J., A. Kiefer. and M. Veith. 2009. Foraging stand fidelity shapes the spatial organization of a population of female western barabastelle bats. *Biological Conservation* 142: 817–823.
- Hillis, D. M., B. K. Mable. and C. Moritz. 1996. *Molecular Systematics*. 2nd ed. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- Hilton-Taylor, C., C. M. Pollock, J. S. Chanson, S. H. Butchart, T. E. Oldfield. and V. Katariya. 2009. *State of the world's species. Wildlife in a changing world - an analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. Lynx. Switzerland.
- Hoban, S. M., H. C. Hauffe, S. Pérez-Espona, J. W. Arntzen, G. Bertorelle, J. Bryja and A. R. Hoelzel. 2013. Bringing genetic diversity to the forefront of conservation policy and management. *Conservation Genetics Resources* 5: 593–598.
- Hoffmann, A. A. and C. M. Sgrò. 2011. Climate change and evolutionary adaptation. *Nature* 470: 479–485.

- Hoffmann, A. A. and H. Klingel. 2001. Spatial and temporal patterns in *Lemniscomys striatus* (Linnaeus 1758) as revealed by radio-tracking. *African Journal of Ecology* 39: 351–356.
- Hokkanen, H., T. Törmälä. and H. Vuorinen. 1982. Decline of the flying squirrel *Pteromys volans* L. populations in Finland. *Biological Conservation* 23: 273–284.
- Holbrook, S. J. 1979. Habitat utilization, competitive interactions, and coexistence of three species of cricetine rodents in East-Central Arizona. *Ecology* 60: 758–769.
- Holloway, G. L. and J. R. Malcolm. 2007. Nest-tree use by northern and southern flying squirrels in central Ontario. *Journal of Mammalogy* 88: 226–233.
- Hoogland, J. L. 1995. The black-tailed prairie dog: social life of a burrowing animal. University of Chicago Press, Chicago.
- Hooper, D. U., E. C. Adair, B. J. Cardinale, J. E. Byrnes, B. A. Hungate, K. L. Matulich. and M. L. O'Connor. 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486: 105–108.
- Hoset, K. S., J. F. L. Galliard, G. Gundersen. and H. Steen. 2007. Home range size and overlap in female root voles: effects of season and density. *Behavioral Ecology* 19: 139–145.
- Hough, M. and C. Dieter. 2009. Home range and habitat use of northern flying squirrels in the Black Hills, South Dakota. *American Midland Naturalist* 162: 112–124.
- Humphries M. M. and S. Boutin. 1996. Reproductive demands and

- mass gains: a paradox in female red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*). *Journal of Animal Ecology* 65: 332–338.
- Hurme, E., M. Mönkkönen, A. L. Sippola, H. Ylinen. and M. Penttinen. 2008. Role of the Siberian flying squirrel as an umbrella species for biodiversity in northern boreal forests. *Ecological Indicators* 8: 246–255.
- Hurme, E., M. Mönkkönen, A. Nikula, V. Nivala, P. Reunanen, T. Heikkinen and M. Ukkola. 2005. Building and evaluating predictive occupancy models for the Siberian flying squirrel using forest planning data. *Forest Ecology and Management* 216: 241–256.
- Hurme, E., P. Reunanen, M. Mönkkönen, A. Nikula, V. Nivala. and J. Oksanen. 2007. Local habitat patch pattern of the Siberian flying squirrel in a managed boreal forest landscape. *Ecography* 30: 277–287.
- Huston, M. 1994. Biological diversity: The coexistence of species on changing landscapes. Cambridge University Press, New York.
- Hut, R. B. Barnes. and S. Daan. 2002. Body temperature patterns before, during, and after semi-natural hibernation in the European ground squirrel. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 172: 47–58.
- Irwin, D. M., T. D. Kocher. and A. C. Wilson. 1991. Evolution of cytochrome *b* gene of mammals. *Journal of Molecular Evolution* 32: 128–144.
- Jacobs, J. 1974. Quantitative measurements of food selection. *Oecologia* 14: 413–417.
- Jacques, C. N., J. S. Zweep, S. E. Jenkins. and R. W. Klaver. 2017.

- Home range use and survival of southern flying squirrels in fragmented forest landscapes. *Journal of Mammalogy* 98: 1479–1488.
- Jackson, S. 2012. *Gliding mammals of the world*. Csiro Publishing, Collingwood.
- Johnson, D. H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61: 65–71.
- Kadoya, N., Iguchi, K., Matsui, M., Okahira, T., Kato, A., Oshida, T. and Y. Hayashi. 2010. A preliminary survey on nest cavity use by Siberian flying squirrels, *Pteromys volans orii*, in forests of Hokkaido Island, Japan. *Russian Journal of Theriology* 9: 27–32.
- Kemp, T. S. 2005. *The origin and evolution of mammals*. Oxford University Press, Oxford.
- Kent, M. 2012. *Vegetation description and data analysis: a practical approach*, 2nd edition. Wiley–Blackwell, Chuchester.
- Khokhlova, I. S., B. R. Krasnov, Kam, M., Burdelova, N. I. and A. A. Degen. 2002. Energy costs of ectoparasitism: the flea *Xenopsylla ramenisi* on the desert gerbil *Gerbillus dasyurus*. *Journal of Zoology* 256: 349–354.
- Kim, J. U., W. S. Lee. and E. J. Lee. 2018. The use of artificial nest boxes by Siberian flying squirrels (*Pteromys volans*) in South Korea. *Journal of Forestry Research* (in press).
- Kim, K. H., J. Yi, G. Kim., S. J. Choi., I. J. Kang, N. H. Kim., P. G. Choe., N. J. Kim., J. K. Lee. and M. D. Oh. 2013. Severe fever with thrombocytopenia Syndrome, South Korea, 2012. *Emerging Infectious Diseases* 19: 1892–1894.

- Kim, Y. K., D. Koyabu, H. Lee, H. and J. Kimura. 2013. Sexual dimorphism of craniomandibular size in the Korean water deer, *Hydropotes inermis argyropus*. *Journal of Veterinary Medical Science* 75: 1153–1159.
- Kim, Y. K., Y. J. Hong, M. S. Min, K. S. Kim, Y. J. Kim, I. Voloshina, A. Myslenkov, G. J. D. Smith, N. D. Cuong, H. H. Tho, S. H. Han, D. H. Yang, C. B. Kim and H. Lee. 2011. Genetic status of asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) reintroduced into South Korea based on mitochondrial DNA and microsatellite loci analysis. *Journal of Heredity* 102: 165–174.
- Knowlton, J. L. and G. H. Graham. 2010. Using behavioral landscape ecology to predict species' responses to land-use and climate change. *Biological Conservation* 143: 1342–1354.
- Koskimäki, J., O. Huitu, J. S. Kotiaho, S. Lampila, A. Mäkelä, R. Sulkava. and M. Mönkkönen. 2014. Are habitat loss, predation risk and climate related to the drastic decline in a Siberian flying squirrel population? a 15-year study. *Population Ecology* 56: 341–348.
- Krasnov, B. R. 2008. Functional and evolutionary ecology of fleas: a model for ecological parasitology. Cambridge University Press, cambridge.
- Krasnov, B. R. and I. S. Khokhlova. 2003. Density-dependent host selection in ectoparasites: an application of isodar theory to fleas parasitizing rodents. *Oecologia* 134: 365–372.
- Kunz, T. H., C. Wemmer. and V. Hayssen. 1996. Sex, age, and reproductive condition of mammals. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.

- Kurttila, M., T. Pukkala. and J. Loikkanen. 2002. The performance of alternative spatial objective types in forest planning calculations: a case for flying squirrel and moose. *Forest Ecology and Management* 166: 245–260.
- Lampila, S., R. Wistbacka, A. Mäkelä. and M. Orell. 2009. Survival and population growth rate of the threatened Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*) in a fragmented forest landscape. *Ecoscience* 16: 66–74.
- Lazure, L., P. Paré, N. Tessier, P. Bourgault, G. Dubois, P. Canac-Marquis. and F. J. Lapointe. 2016. Known range expansion and morphological variation in the southern flying squirrel (*Glaucomys volans*) in Quebec. *Canadian Field Naturalist* 130: 216–221.
- Lee, M. Y., A. A. Lisovsky, S. K. Park, E. V. Obolenskaya, N. E. Dokuchaev, Y. P. Zhang, L. Yu, Y. J. Kim, I. Voloshina, A. Myslenkov, T. Y. Choi, M. S. Min. and H. Lee. 2008. Mitochondrial cytochrome *b* sequence variations and population structure of Siberian chipmunk (*Tamias sibiricus*) in Northeastern Asia and population substructure in South Korea. *Molecules and Cells* 26: 566–575.
- Lee, M. Y., S. K. Park, Y. J. Hong, Y. J. Kim, L. Voloshina, A. Myslenkov, A. P. Saveljev, T. Y. Choi, R. Z. Piao, J. H. An, M. H. Lee, H. Lee. and M. S. Min. 2008. Mitochondrial genetic diversity and phylogenetic relationships of Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*) population. *Animal Cells and Systems* 12: 269–277.
- Le Roux, D. S., K. Ikin, D. B. Lindenmayer, G. Bistricher. and A. D. Manning. 2016. Effects of entrance size, tree size and landscape

- context on nest box occupancy: considerations for management and biodiversity offsets. *Forest Ecology and Management* 366: 135–142.
- Librado, P. and J. Rozas. 2009. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics* 25: 1451–1452.
- Lindenmayer, D. B., A. Welsh, C. Donnelly, M. Crane, D. Michael, C. Macgregor, L. Mcburney, R. Montague–Drake. and P. Gibbons. 2009. Are nest boxes a viable alternative source of cavities for hollow-dependant animals? Long-term monitoring of nest box occupancy, pest use and attrition. *Biological Conservation* 142: 33–42.
- Lipatova, I., Stanko, M., Paulauskas, A., Spakovaite, S. and V. Gedminas. 2015. Fleas (Siphonaptera) in the nests of dormice (Gliridae: Rodentia) in Lithuania. *Journal of medical entomology* 52: 469–474.
- Loretto, M., R. Schuster. and T. Bugnyar. 2016. GPS tracking of non-breeding ravens reveals the importance of anthropogenic food sources during their dispersal in the Eastern Alps. *Current Zoology* 62: 337–344.
- Lowery, G. 1974. The mammals of Louisiana and its adjacent waters. Louisiana State University Press, Baton Rouge.
- Loy, A., O. Spinosi. and R. Carlini. 2004. Cranial morphology of *Martes foina* and *M. martes* (Mammalia, Carnivora, Mustelidae): the role of size and shape in sexual dimorphism and interspecific differentiation. *Italian Journal of Zoology* 71: 27–34.
- Lucas A. W., M. Vermeulen, S. V. Dongen, S. Bertolino, A. Molinari, G. Tosi. and E. Matthysen. 2007. Effect of spatio-temporal variation in food supply on red squirrel *Sciurus vulgaris* body

- size and body mass and its consequences for some fitness components. *Ecography* 30: 51–65.
- Lurz, P. W., P. J. Garson. and L. A. Wauters. 2000. Effects of temporal and spatial variations in food supply on the space and habitat use of red squirrels (*Sciurus vulgaris* L.). *Journal of Zoology* 251: 167–178.
- Maher, C. R. 2000. a review of ecological determinants of territoriality within vertebrate species. *American Midland Naturalist* 143: 1–29.
- Mäkeläinen, S., de H. J. Knecht, O. Ovaskainen. and I. K. Hanski. 2016. Home-range use patterns and movements of the Siberian flying squirrel in urban forests: effects of habitat composition and connectivity. *Movement Ecology* 4: 13.
- Maldonado, J. E., F. Hertel. and C. Vila. 2004. Discordant patterns of morphological variation in genetically divergent populations of ornate shrews (*Sorex ornatus*). *Journal of Mammalogy* 85: 886–896.
- Manly, B., L. McDonald. and D. Thomas. 1993. Resource selection by animals. Statistical design and analysis for field studies. Chapman and Hall, London.
- Markford., W., C. A. Kelly, J. L. Rodrigue, R. H. Odom, D. Newcomb, L. M. Gilley. and C. A. Diggins. 2014. Late winter and early spring home range and habitat use of the endangered Carolina northern flying squirrel in western North Carolina. *Endangered Species Research* 23: 73–82.
- Marshall, A. G. 1981. Population ecology of individuals. Princeton University Press, Princeton.

- Martin, J., W. M. Kitchens. and J. E. Hines. 2007. Importance of Well-designed monitoring programs for the conservation of endangered species. *Conservation Biology* 21: 472–481.
- Matsushashi, T., R. Masuda, T. Mano. and M. C. Yoshida. 1999. Microevolution of the mitochondrial DNA control region in the Japanese Brown Bear (*Ursus arctos*) population. *Molecular Biology and Evolution* 16: 676–684.
- McCloughlin, P. D., S. H. Ferguson. and F. Messier. 2000. Intraspecific variation in home range overlap with habitat quality. *Evolutionary Ecology* 14: 39–60.
- Menzel, J. M., F. Mark, W. Edwards, J. W. and T. M. Terry. 2006. Home range and habitat use of the vulnerable Virginia northern flying squirrel *Glaucomys sabrinus fuscus* in the Central Appalachian Mountains, USA. *Oryx* 40: 204–210.
- Merrick, M. J., S. Bertelsen. and J. L. Koprowski. 2007. Characteristics of mount graham red squirrel nest sites in a mixed conifer forest. *Journal of Wildlife Management* 71: 1958–1963.
- Meyer, M. D., M. P. North. and D. A. Kelt. 2007. Nest trees of northern flying squirrels in Yosemite National Park, California. *Southeastern Naturalist* 52: 157–161.
- Michaux, J. R., R. Libois., A. Davison., P. Chevret. and R. Rosoux. 2004. Is the wetern population of the European mink (*Mustela lutreola*), a distinct Management Unit for conservation?. *Biological Conservation* 115: 357–367.
- Millien, V. 2011. Mammals evolve faster on smaller islands. *Evolution*

- 65: 1935–1944.
- Mills, L. S. 2007. Conservation of wildlife populations: demography, genetics, and management. Blackwell, Malden.
- Mohr, C. O. 1947. Table of equivalent populations of North American small mammals. *American Midland Naturalist* 37: 223–249.
- Mohr, C. O. and H. B. Morlan. 1959. The nature of parasitism of the opossum by fleas in southwestern Georgia. *Journal of Parasitology* 45: 233–237.
- Moore, J. 1984. Parasites that change the behavior of their host. *Scientific American* 250: 108–115.
- Mooring, M. S., A. J. Gavazzi. and B. L. Hart. 1998. Effects of castration on grooming goats. *Physiology and Behaviour* 64: 707–713.
- Mooring, M. S., D. D. Reisig, J. M. Neimeyer. and E. R. Osborne. 2002. Sexually and developmentally dimorphic grooming: a comparative survey of the Ungulate. *Ethology* 108: 911–934.
- Mooring, M. S., D. T. Blumstein. and C. J. Soner. 2004. The evolution of parasite-defence grooming in ungulates. *Biological Journal of Linnean Society* 81: 17–37.
- Morand, S., B. R. Krasnov and R. Poulin. 2006. *Micromammals and Macroparasites*. Springer, New York.
- Morlan, H. B. 1952. Host relationships and seasonal abundance of some southwest Georgia southwest Georgia Ectoparasites. *American Midland Naturalist* 48: 74–93.
- Morris, D. L. and F. R. Thompson. 1998. Effects of habitat and invertebrate density on abundance and foraging behavior of

- brown-headed cowbirds. *Auk* 115: 376–385.
- Mysterud, A., F. J. Pérez-Barbería. and I. J. Gordon. 2001. The effect of season, sex and feeding style on home range area versus body mass scaling in temperate ruminants. *Oecologia* 127: 30–39.
- Nakama, S. and H. Yanagawa. 2009. Characteristics of tree cavities used by *Pteromys volans orii* in winter. *Mammal Study* 34: 161–164.
- Nandini, R. 2011. Evolution of sexual size dimorphism in squirrels. PhD dissertation. Auburn University, Alabama.
- Nei, M. and W. H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 76: 5269–5273.
- Neuhaus, P., D. R. Broussard, J. O. Murie. and F. S. Dobson. 2004. Age of primiparity and implications of early reproduction of life history in female Columbian ground squirrels. *Journal of Animal Ecology* 73: 36–43.
- Nowak, R. M. 1999. Walker's mammals of the world. 6th ed. Johns Hopkins University Press, Maryland.
- Ohdachi S. D., Y. Ishibashi, M. A. Iwasa, D. Fukui. and T. Saitoh. 2015. The Wild Mammals of Japan. 2nd ed. Shoukadoh Book Sellers, Kyoto.
- Oshida, T., L. K. Lin, H. Yanagawa, H. Endo. and R. Masuda. 2000. Phylogenetic relationships among six flying squirrel genera, inferred from mitochondrial cytochrome *b* gene sequences. *Zoological Science* 17: 485–489.
- Oshida, T., C. M. Shafique, S. Barkati. and R. Masuda. 2004. A

- preliminary study on the genetic diversity of small populations of two flying squirrel species from Pakistan (*Hylopetes fimbriatus* and *Petaurista petaurista albiventer*), based on mitochondrial DNA control region sequences. Mammal Study 29: 21–26.
- Oshida, T., A. Abramov, H. Yanagawa. and R. Masuda. 2005. Phylogeography of the Russian flying squirrel (*Pteromys volans*): implication of refugia theory in arboreal small mammal of Eurasia. Molecular Ecology 14: 1191–1196.
- Palsbøll, P. J., M. Be'rubé' and F. W. Allendorf. 2007. Identification of management units using population genetic data. Trends in Ecology and Evolution 22: 11–16.
- Patterson, J. E. and K. E. Ruckstuhl. 2013. Parasite infection and host group size: a meta-analytical review. Parasitology 140: 803–813.
- Patterson, J. E. H., P. Neuhaus, S. J. Kutz. and K. E. Ruckstuhl. 2015. Patterns of ectoparasitism in North American red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*): sex-biases, seasonality, age, and effects on male body condition. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife 4: 301–306.
- Pergrams, O. R. W. and R. C. Lacy. 2008. Rapid morphological and genetic change in Chicago-area *Peromyscus*. Molecular Ecology 17: 450–463.
- Perez-Orella, C. and A. Schulte-Hostedde. 2005. Effects of sex and body size on ectoparasite loads in the northern flying squirrel (*Glaucomys sabrinus*). Canadian Journal of Zoology 83: 1381–1385.
- Posada, D. and K. A. Crandall. 2001. Selecting the best-fit model of

- nucleotide substitution. *Systematic Biology* 50: 580–601.
- Press, S. J. and W. Sandra. 1978. Choosing between logistic regression and discriminant analysis. *Journal of the American Statistical Association* 73: 699–705.
- Pung, O. J., L. A. Durden, M. J. Patrick, T. Conyers. and L. R. Mitchell. 2000. Ectoparasites and gastrointestinal helminths of southern flying squirrels in Southeast Georgia. *Journal of Parasitology* 86: 1051–1055.
- Quin D. G., A. P. Smith. and T. W. Norton. 1996. Eco-geographic variation in size and sexual dimorphism in sugar gliders and squirrel glider (Marsupialia: Petauridae). *Australian Journal of Zoology* 44: 19–45.
- Ralls, K. 1976. Mammals in which females are larger than males. *The Quarterly Review of Biology* 15: 245–276.
- Reunanen, P., M. Mönkkönen. and A. Nikula. 2002. Habitat requirements of the Siberian flying squirrel in northern Finland: comparing field survey and remote sensing data. *Annales Zoologici Fennici* 39: 7–20.
- Rifkin, J. L., Nunn, C. L. and L. Z. Garamszegi. 2012. Do animals living in larger groups experience greater parasitism? a meta-analysis. *American Naturalist* 180: 70–82.
- Rivers, M. C., N. A. Brummitt, E. N. Lughadha and T. R. Meagher. 2014. Do species conservation assessments capture genetic diversity? *Global Ecology and Conservation*. 2: 81–87.
- Robins, J. H. 2006. Morphological aspects of geographic variation in new world flying squirrels (Genus: *Glaucomys*). PhD dissertation,

- Northern Illinois University. Dekalb.
- Rocha, R. G., E. Ferreira, B. Costa, I. Martins, Y. L. Leite, L. P. Costa. and C. Fonseca. 2011. Small mammals of the mid-Araguaia River in central Brazil, with the description of a new species of climbing rat. *Zootaxa* 2789: 1-34.
- Romeo, C., L. A. Wauters, D. Preatoni, G. Tosi. and A. Martinoli. 2010. Living on the edge: space use of Eurasian red squirrels in marginal high-elevation habitat. *Acta Oecologica* 36: 604-610.
- Rothschild, N. C. 1908. New Siphonaptera. *Proceedings of the Zoological Society of London*: 617-629.
- Santangeli, A., R. Wistbacka, I. K. Hanski, I. K. and T. Laaksonen. 2013. Ineffective enforced legislation for nature conservation: a case study with Siberian flying squirrel and forestry in a boreal landscape. *Biological Conservation* 157: 237-244.
- Schalk, G. and M. R. Forbes. 1997. Male biases in parasitism of mammals: effects of study type, host age, and parasite taxon. *Oikos* 78: 67-74.
- Scheibe, J. S., W. P. Smith, J. Bassham. and D. Magness. 2006. Locomotor performance and cost of transport in the northern flying squirrel *Glaucomys sabrinus*. *Acta Theriologica* 51: 169-178.
- Schradin, C. and N. Pillay. 2005. Intraspecific variation in the spatial and social organization of the African striped mouse. *Journal of Mammalogy* 86: 99-107.
- Selonen, V., I. K. Hanski. and P. C. Stevens. 2001. Space use of the Siberian flying squirrel *Pteromys volans* in fragmented forest

- landscapes. *Ecography* 24: 588–600.
- Selonen, V. and I. K. Hanski. 2003. Movements of the flying squirrel *Pteromys volans* in corridors and in matrix habitat. *Ecography* 26: 641–651.
- Selonen, V. and I. K. Hanski. 2004. Young flying squirrels (*Pteromys volans*) dispersing in fragmented forests. *Behavioral Ecology* 15: 564–571.
- Selonen, V., I. K. Hanski. and P. C. Stevens. 2006. Space use of the Siberian flying squirrel *Pteromys volans* in fragmented forest landscapes. *Ecography* 24: 588–600.
- Selonen, V. and I. K. Hanski. 2006. Habitat exploration and use in dispersing juvenile flying squirrels. *Journal of Animal Ecology* 75: 1440–1449.
- Selonen V., J. N. Painter, S. Rantala. and I. K. Hanski, 2013. Mating system and reproductive success in the Siberian flying squirrel. *Journal of Mammalogy* 94: 1266–1273.
- Selonen, V., I. K. Hanski. and R. Wistbacka. 2014. Communal nesting is explained by subsequent mating rather than kinship or thermoregulation in the Siberian flying squirrel. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 68: 971–980.
- Selonen, V., R. Wistbacka. and S. Andrea. 2016. Sex-specific patterns in body mass and mating system in the Siberian flying squirrel. *BMC Zoology* 1: 1–9.
- Serrano-Meneses M. A. and T. Szekely. 2006. Sexual size dimorphism in seabirds: sexual selection, fecundity selection and differential niche-utilisation. *Oikos* 113: 385–394.

- Shanley, C. S., S. Pyare. and W. P. Smith. 2013. Response of an ecological indicator to landscape composition and structure: implications for functional units of temperate rainforest ecosystems. *Ecological Indicators* 24: 68–74.
- Sharpe, D. J. and R. Goldingay. 2007. Home range of the Australian squirrel glider, *Petaurus norfolcensis* (Diprotodontia). *Journal of Mammalogy* 88: 1515–1522.
- Shine R. 1989. Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: a review of the evidence. *Quarterly Review of Biology* 64: 419–461.
- Shinozaki, Y., T. Shibashi, K. Yoshizawa, K. Murata, J. Kimura, S. Maruyama, Y. Hayama, H. Yoshida and S. Nogami. 2004. Ectoparasites of the Pallas squirrel, *Callosciurus erythraeus*, introduced to Japan. *Medical and Veterinary Entomology* 18: 61–63.
- Shuttleworth, C. and P. Schuchert. 2017. Are nest boxes a useful tool in regional red squirrel conservation programs? *Italian Journal of Mammalogy* 25: 91–94.
- Silvius, K. M. 2002. Spatio-temporal patterns of palm endocarp use by three Amazonian forest mammals: granivory or ‘grubivory’? *Journal of Tropical Ecology* 18: 707–723.
- Silvy, N. J. 2012. *The Wildlife Techniques Manual*. Johns Hopkins University Press, Maryland.
- Slatkin, M. 1995. A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics* 139: 457–462.
- Smith, G. C. and G. Agnew. 2002. The value of ‘bat boxes’ for attracting hollow-dependant fauna to farm forestry plantations in southeast

- Queensland. Ecological Management and Restoration 3: 37–46.
- Smith. R. 1999. Statistics of sexual size dimorphism. Journal of Human Evolution 36: 423–459.
- Smith, F. A., A. G. Boyer, J. H. Brown, D. P. Costa, T. Dayan, S. M. Ernest. and L. E. Harding. 2010. The evolution of maximum body size of terrestrial mammals. Science 330: 1216–1219.
- Smith, W. P. and J. V. Nichols. 2003. Demography of the Prince of Wales flying squirrel, an endemic of southeastern Alaska temperate rain forest. Journal of Mammalogy 84: 1044–1058.
- Snyder, P. K., C. Delire and J. A. Foley. 2004. Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. Climate Dynamics 23: 279–302.
- Sonenshine, D. E., Bozeman, F. M., Williams, M. S., Masiello, S. A., Chadwick, D. P., Stocks, N. I. and B. L. Elisberg. 1978. Epizootiology of epidemic typhus (*Rickettsia prowazekii*) in flying squirrels. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 27: 339–349.
- Speakman, J. R., A. Van Acker. and E. J. Harper. 2003. Age related changes in the metabolism and body composition of three dog breeds and their relationship to life expectancy. Aging Cell 2: 265–275.
- Steele, M. A. and J. L. Koprowski. 2001. North American tree squirrels. Smithsonian Books, Washington, D. C.
- Steiner, I., C. Bürgi, S. Werffeli, G. Dell’Omo, P. Valenti, G. Tröster, D. P. Wolfer. and H. Lipp. 2000. A GPS logger and software for analysis of homing in pigeons and small mammals. Physiology

- and Behavior 71: 589–596.
- Steinmann, A. R., Priotto, J. W. and J. J. Polop. 2009. Territorial behaviour in corn mice, *Calomys musculus* (*Muridae: Sigmodontinae*), with regard to mating system. Journal of Ethology 27: 51–58.
- Storz, J. F., J. Balasingh, H. R. Bhat, P. T. Nathan, D. P. S. Doss, A. A. Prakash. and T. H. Kunz. 2001. Clinal variation in body size and sexual dimorphism in an Indian fruit bat, *Cynopterus sphinx* (Chiroptera: Pteropodidae). Biological Journal of the Linnean Society 72: 17–31.
- Suckling, G. C. and M. A. Macfarlane. 1983. Introduction of the sugar glider, *Petaurus breviceps*, into re-established forest of the Tower Hill State Game Reserve, Victoria. Australian Wildlife Research 10: 249–258.
- Suzuki, K., Y. Asari. and H. Yanagawa. 2012. Gliding locomotion of Siberian flying squirrels in low-canopy forests: the role of energy-inefficient short-distance glides. Acta Theriologica 57: 131–135.
- Suzuki, K., M. Sagawa. and H. Yanagawa. 2013. Nest cavity selection by the Siberian flying squirrel *Pteromys volans*. Italian Journal of Mammalogy 24: 187–189.
- Swilhart, R. K. N. A. Slade. and B. J. Bergstrom. 1988. Relating body size to the rate of home range use in mammals. Ecology 69: 393–399.
- Swiderski, D. L. 1993. Morphological evolution of the scapula in tree squirrels, chipmunks, and ground squirrels (sciuridae): an analysis using thinplate splines. Evolution 47: 1854–1873.
- Szekely T., J. D. Renolds. and J. Figuerola. 2000. Sexual size dimorphism in shorebirds, gulls and alcids: the influence of sexual and natural selection. Evolution 54: 1404–1413.

- Taberlet, P. and J. Bouvet. 1994. Mitochondrial DNA polymorphism, phylogeography and conservation genetics of the brown bear *Ursus arctos* in Europe. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences 255: 195–200.
- Taberlet, P., L. Fumagalli, A. G. Wust-Saucy. and J. F. Cosson. 1998. Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. Molecular Ecology 7:453–764.
- Tamada, T., B. Siriaronrat, V. Subramaniam, M. Hamachi, L. Lin. and T. Oshida. 2008. Molecular diversity and phylogeography of the asian leopard cat, *Felis bengalensis*, inferred from mitochondrial and Y-chromosomal DNA sequences. Zoological Science 25: 154–163.
- Thorington R. W., J. L. Koprowski, M. A. Steele. and J. F. Whatton. 2012. Squirrels of the world. Johns Hopkins Press, Maryland.
- Tilman, D. and J. A. Downing. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. Nature 367: 363–365.
- Tipton, V. J., Southwick, W., Ah, H. S. and H. S. Yu. 1972. Fleas of Korea. Korean Journal of Parasitology 10: 52–63.
- Toïgo, C., J. Gailard, M. Van Laere, G. Hewison. and N. Morellet. 2006. How does environmental variation influence body mass, body size, and body condition? roe deer as a case study. Ecography 29: 301–308.
- Tompkins, D. M., A. M. Dunn, M. J. Smith and S. Telfer. 2011. Wildlife diseases: from individuals to ecosystems. Journal of Animal Ecology 80: 19–38.
- Traub, R., M. Rothschild and J. F. Haddow. 1983. The othschild

- collection of fleas. The Ceratophyllidae: key to the genera and host relationships. with notes on their evolution, zoogeography and medical importance. Academic Press, Orland.
- Trudeau, C., L. Imbeau, P. Drapeau and M. J. Mazerolle. 2011. Site occupancy and cavity use by the northern flying squirrel in the boreal forest. *Journal of Wildlife Management* 75: 1646–1656.
- Vernes, K. 2001. Gliding performance of the northern flying squirrel (*Glaucomys sabrinus*) in mature mixed forest of eastern Canada. *Journal of Mammalogy* 82: 1026–1033.
- Vernes, K. 2004. Breeding biology and seasonal capture success of Northern flying squirrels (*Glaucomys sabrinus*) and Red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*) in Southern New Brunswick. *Northeastern Naturalist* 11: 123–137.
- Vieira, E. M., G. Iob, D. C. Briani and A. R. T. Palma. 2005. Microhabitat selection and daily movements of two rodents (*Necomys lasiurus* and *Oryzomys scotti*) in Brazilian Cerrado, as revealed by a spool-and-line device. *Mammalian Biology Zeitschrift für Säugetierkunde* 70: 359–365.
- Walter, D. E. and H. C. Proctor. 1999. Mites: ecology, evolution, and behaviour. CABI Publishing, New York.
- Walter, W. D. and J. W. Fischer. 2016. Manual of applied spatial ecology. Pennsylvania State University. Pennsylvania.
- Waterman, J. M., G. F. Macklin and C. Enright. 2013. Sex-biased parasitism in Richardson's ground squirrels (*Uroditellus richardsonii*) depends on the parasite examined. *Canadian journal*

- of zoology 92: 73–79.
- Wauters L. A. and A. A. Dhondt. 1995. Lifetime reproductive success and its correlates in female eurasian red squirrels. *Oikos* 72: 402–410.
- Wauters, L. A., D. G. Preatoni, A. Molinari. and G. Tosi. 2007. Radio-tracking squirrels: performance of home range density and linkage estimators with small range and sample size. *Ecological Modelling* 202: 333–344.
- Wauters, L. A., J. Gurnell, D. Preatoni. and G. Tosi. 2001. Effects of spatial variation in food availability on spacing behaviour and demography of Eurasian red squirrels. *Ecography* 24: 525–538.
- Wauters, L. A., P. W. W. Lurz and J. Gurnell, 2000. The effects of interspecific competition by grey squirrels (*Sciurus carolinensis*) in the space use and population dynamics of red squirrels (*S. vulgaris*) in conifer plantations. *Ecological Research* 15: 271–284.
- Wiebe, K. L. and T. L. Swift. 2001. Clutch size relative to tree cavity size in northern flickers. *Journal of Avian Biology* 32: 167–173.
- Wilson, E. O. 1992. The diversity of life. Harvard University Press, Massachusetts.
- Wilson, J., D. A. Kelt. and D. H. Van Vuren. 2008. Home range and activity of northern flying squirrels (*Glaucomys sabrinus*) in the Sierra Nevada. *Southeastern Naturalist* 53: 21–28.
- Winson, D. E., T. E. Lacher. and R. A. Mittermeier. 2016. Handbook of the mammals of the World. Vol 6. Lagomorphs and Rodents I. Lynx Edicions, Barcelona.
- Witt, J. W. 1992. Home range and density estimates for the northern

- flying squirrel, *Glaucomys sabrinus*, in western Oregon. Journal of Mammalogy 73: 921–929.
- Worton, B. J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. Ecology 70:164–168.
- Yalkovskaya, L. E., V. N. Bol'shakov, P. A. Sibiryakov, P. A. and A. V. Borodin. 2015. Phylogeography of the Siberian flying squirrel (*Pteromys volans* L., 1785) and the history of the formation of the modern species range: new data. Biochemistry, Biophysics and Molecular Biology 462: 181–184.
- Zuk, M. and K. A. McKean. 1996. Sex differences in parasite infections: patterns and processes. International journal for parasitology 26: 1009–1024.

Abstract

This study aimed to understand morphology, ecology and genetics of the Siberian flying squirrel, *Pteromys volans* to establish effective conservation and management plan in Korea. From 2014 to 2016, morphological characteristic, nest selection and use, home range and habitat use, ectoparasites and genetic diversity and structure were studied at Mt. Baegun, Wonju, Gangwon Province, Korea.

P. volans showed female-biased sexual dimorphism. This result should be related to reproductive strategy of the species. The morphological characteristics of the Korean population of *P. volans* appeared smaller than European population and Hokkaido's population according to latitude. This result was probably caused by different climate and habitat environment depend on distribution area.

P. volans showed a high preference in the nest box with 4cm diameter entrance holes. Mean litter size was identified as 2.17 ± 0.31 . Woody vines seem to be the most important nest material for the *P. volans* with the highest proportion within 13 clarified nest material species. Nest using pattern appeared to highly relate with proper distance to close trees, height of surrounding trees, and tree crown area. This result should be related that forest structure which affect to nest selection to avoid from predators, also for the gliding performance.

The mean home range size of *P. volans* was 15.12 ± 3.18 ha and the mean core area was 2.75 ± 1.04 ha. Home range size was larger and home range overlap proportion was higher in the breeding season than non-breeding season. This result might be related to bigger home range

size caused by reproductive behavior for mating during the breeding season. High habitat utilization appeared at deciduous forest, 51–70% crown density, forest with age class 4 and trees with DBH class 3 within the home range area. Thus *P. volans* might prefer mature forest with a dense crown area.

Ceratophyllus (Monopsyllus) indages was identified which parasites on *P. volans* in Korea. Sex and body mass of *P. volans* appeared to affect to flea load. This result indicates a defense mechanism of host and host selection of ectoparasites. Therefore, evolutionary interaction between host and flea load might be related with association of body condition and home range size of the host.

The phylogenetic result of *P. volans* showed 3 genetically distinct lineages. Thus, our analyses suggest that *P. volans* should be considered as 3 evolutionary significant units(ESUs); Northern Eurasia, Far-east, and Hokkaido. Korean population is included in Far-East ESU. Although *P. volans* did not show monophyly haplotypes sorting as an ESU by localities, we suggest Korean sub-population should be considered as a single population and single management unit(MU).

Moreover, it is necessary to consider morphology, population dynamics, ecology, genetic characteristics and habitat environment of *P. Volans* based on the results of this study for effective conservation and management of *P. volans* and its habitat in Korea.

Keywords : *Ceratophyllus (Monopsyllus) indages*, home range, morphology, nest selection, population genetic, *Pteromys volans*

Student Number : 2011-31026